

DER AKUSTISCHE REFLEX
BEI LÄRMARBEITERN

(Untersuchungen
bei verschiedenartigen Lärmeinwirkungen)

Raimund Meisel

1973
—



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553809_0036

AUS DER UNIVERSITÄTSKLINIK FÜR
HALS-, NASEN- UND OHRENKRANKHEITEN DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Direktor: Prof. Dr. Hans-H. Naumann

DER AKUSTISCHE REFLEX BEI LÄRMARBEITERN
(Untersuchungen
bei verschiedenartigen Lärmeinwirkungen)

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig Maximilians-Universität
zu München

vorgelegt von
Raimund Meisel
aus Bamberg

1973

DISSERTATIONS-DRUCK - SCHÖN - 8 München 40 • Belgradstraße 11

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter:	Prof. Dr. Schreiner
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. Naumann
Dekan:	Prof. Dr. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 10. 4. 1973



INHALTSVERZEICHNIS

I.	Das Gehör und Umweltgeräusche	5
II.	Geschichtlicher Rückblick auf wegweisende Veröffentlichungen zum Akustischen Reflex	7
III.	1) Die Mittelohrmuskeln	10
	2) Anatomischer Feinbau der Mittelohrmuskeln	10
IV.	Bisherige Erkenntnisse über den Akustischen Reflex	13
	1) Akustischer Reflex	13
	2) Verschiedene Möglichkeiten der Reflexauslösung	13
	3) Reflexablauf und Reflexgeschwindigkeit	15
	4) Auswirkungen des Akustischen Reflexes auf die Schallübertragung	19
	a) Akkomodationstheorie	19
	b) Klirrhypothese	20
	c) Schutztheorie	20
	d) Steigerung der Informationskapazität	23
	5) Der Akustische Reflex in Abhängigkeit von Leitstärke, Frequenz, Dauer- und Impulsreiz	23
V.	Eigene Untersuchungen	29
VI.	Zusammenfassung	57
VII.	Literaturverzeichnis	59
VIII.	Lebenslauf	71

I.

Der Hörapparat, in der Entwicklung der Menschheit das jüngste Sinnesorgan, hat sich aus dem Tastsinn entwickelt. Entsprechend ähnlich ist daher das Grundverhalten beider Sinnesorgane. So führt beim Tasten der adäquate Reiz zum Fühlen, der übermäßige Reiz aber zur Schmerzempfindung und auch zu vorübergehend verminderter Fühlschärfe, ein extrem starker Reiz vermag den Tastsinn sogar zu zerstören. Beim Hören bewirken der adäquate Reiz in übermäßiger Lautstärke Schmerzempfindungen und vorübergehende Hörminderung, in extremer Form irreversible Zerstörungen im Innenohr.

Für Jahrhunderte brauchte das Ohr nur Geräusche der Natur aufzunehmen, wobei der Donner, das Tosen des Wasserfalls und der Meeresbrandung in jener Zeit wohl die lautesten Geräusche waren. Daraus ist zu folgern, daß die Natur den Bau unseres Gehörs mehr auf normale, feine Umweltgeräusche, nicht nur auf kurzeinwirkenden Donner abgestellt hat.

Mit der Bronze- und Eisenzeit gelang es dem Menschen erstmals, in der Natur an Intensität und Dauer nicht vorkommende Geräusche zu erzeugen; mit der Erfindung des Schießpulvers gar ließ sich das Donnergeräusch künstlich und beliebig oft wiederholbar erzeugen.

Die technische Revolution des 20. Jahrhunderts hat das Leben des zivilisierten Menschen komfortabler und damit angenehmer gemacht, ihm aber auch Töne und Geräusche von Dauer und Intensität beschert, denen unser Gehörorgan im Laufe der menschlichen Entwicklung nicht angepaßt wurde und die leicht zu Überbeanspruchungen unseres Gehörorganes führen, denen das kleine und empfindliche Organ nicht gewachsen ist.

Der außerordentlich großen Empfindlichkeit des Gehöres bei absoluter Stille, die bei sehr gutem Ohr mit einem Schwellenwert von $5 \cdot 10^{-5}$ Mikrobar bei 1000 Hz (GEFFKEN (1)) zwar nicht ganz an die Wahrnehmung der Brownschen Molekularbewegung, wohl aber an die des Zellstoffwechsels und der Blutströmung heranreicht (LEHNHARDT (2)), steht eine ebenso große Widerstandskraft gegenüber, die selbst die enorme akustische Energie des Schusses eines modernen Geschützes oder den Lärm eines Überschallflugzeuges ertragen läßt. Diese Aufnahmefähigkeit einer derart großen Schalldruckbreite muß eigentlich wirk-same Regulationsmechanismen voraussetzen, die das Gehörorgan einmal vor Schädigung bewahren und andererseits eine weitgehende Anpassung an das gegebene akustische Milieu gewährleisten kann.

Als ein solcher Regulationsmechanismus wurde seit etwa der Mitte des vergangenen Jahrhunderts in der Fachliteratur zunächst allein die Funktion der Binnen-

ohrmuskeln angesehen, wobei zwei Ansichten im besonderen Mittelpunkt der Forschung und der Spekulation standen, nämlich die Schallschutzfunktionstheorie und die Akkomodationstheorie, diese im Analschluß zum Auge. Mit der Veröffentlichung von BEKESY (3) kam im Jahre 1936 ein weiterer Schutzmechanismus ins Gespräch, die von Bekesy mit einer rein mechanischen Unterbrechung zu großer Schallamplituden im Mittelohrapparat durch Änderung der Steigbügel-fußplatten-Schwingungsform erklärte.

Durch Jahrzehnte war die überwiegende Zahl der Versuche und Beobachtungen dahin ausgerichtet, die eine oder andere Theorie zu untermauern. Hierbei ist es zwar gelungen, mit Hilfe modernster physikalischer Untersuchungsmethoden gewisse fundamentale Erkenntnisse über die Bedeutung der Binnenohrmuskeln zu gewinnen. Eine restlose Klärung der physikalischen Vorgänge jedoch ist nicht gelungen. Manche Widersprüche in der Auffassung über die Bedeutung der Binnenohrmuskeln blieben ungeklärt und sind noch zu beseitigen.

II.

GESCHICHTLICHER RÜCKBLICK AUF WEGWEISENDE VERÖFFENTLICHUNGEN
ÜBER DIE FUNKTION DER BINNENOHRMUSKELN

Einen ersten aufschlußreichen und zusammenfassenden Überblick über den Wissensstand seiner Zeit gibt uns CEMACH (4) in seinen Beiträgen zur "Kenntnis der kochlearen Reflexe", 1920. Cemach stellt resignierend fest, daß die Bestimmung der Binnenohrmuskelfunktion seit mehr als einem halben Jahrhundert ein viel umstrittenes Problem sei, um das sich die bedeutendsten Physiologen und Otologen bemühten, ohne ihm zur endgültigen Lösung verholfen zu haben. In dieser Arbeit werden weiter die damaligen Theorien der Binnenohrmuskelfunktionen aufgezeigt und auf Versuchsergebnisse darüber hingewiesen.

Neben den eigenen Literaturangaben bei (4) selbst wird besonders auf PFLÜGERS ARCHIV, Bd. 150, verwiesen, wo eine umfassende Literaturzusammenstellung über das Thema zu finden sei. Ohne besondere Erwähnung bei (4) sind die wegweisenden Forschungsergebnisse von A. POLITZER (5), der 1864 erstmals am getöteten Hund nachweisen konnte, daß die durch Schall ausgelösten Schwingungen des Hammers im Hundeohr durch Reizung des Nervus trigeminus abgeschwächt werden. Weiter beschreibt Politzer, daß durch Zug am musculus tensor tympani (m. t. t.), beobachtet an einem Schläfenbeinpräparat, eine Änderung des Klangcharakters eines angebotenen Tones verursacht werde.

HELMHOLTZ (6) vertritt 1886 über die Mittelohrfunktion die Ansicht, daß die Kontraktion des m. t. t. ein Spannen aller Gehörknöchelchenbänder bewirke, was einer Lagesicherung gleichkomme. Helmholtz zeigte damals schon auf, daß das Ringband verschieden straff gespannt sei und daß dadurch beim Hineindrücken der Steigbügelfußplatte gleichzeitig eine Hebelwirkung zustandekomme, eine Erkenntnis, die rund 60 Jahre später bei von BEKESY (3) in seiner Schallschutzfunktionstheorie der Steigbügelfußplatte wieder auftaucht.

MACH und KESSEL (7) sollen 1874 erstmals an menschlichen Felsenbeinpräparaten durch Zug am m. t. t. eine Abnahme der Schwingungsamplitude am Trommelfell beobachtet haben. Von ähnlichen Beobachtungen am lebenden Menschen wird damals jedoch nichts berichtet.

Nach CEMACH (4) haben MACH und KESSEL neben LUCAE und HENSEN in den Binnenohrmuskeln einen Akkomodationsapparat gesehen. Der Spannungszustand der Schalleitungskette, beeinflußt durch die Binnenohrmuskeltätigkeit, sollte das Ohr abwechselnd für verschiedene Töne empfindlich machen.

BEZOLD (8) zitiert HENSEN, der 1878 den Hinweis gegeben haben soll, daß sich der m. t. t. auf Schalleinwirkung hin kontrahiere. BOCKENDAHL (9) bestätigt

zwei Jahre später HENSENs Beobachtungen der Muskelkontraktion, korrigiert diese aber dahin, daß, wie er am Hund feststellen konnte, bei Dauertönen auch eine Dauerkontraktion ausgelöst werde.

Nach CEMACH (4) war es vermutlich FABRICIUS AB AQUAPENDENTE, der um 1860 erstmals eine Trommelfellbewegung, verursacht durch Musculus-Tensor-Kontraktion, beobachtet haben will, während KATO (10) SCHAPINGER anführt, der 1878 eine deutliche Trommelfelleinwärtsbewegung, ausgelöst durch die Musculus-Tensor-Kontraktion, erstmals beschrieben haben soll.

Heute wissen wir, daß jene heftigen Kontraktionen mit Trommelfelleinziehungen hörphysiologisch nichts mit den feinen reflektorisch ausgelösten Muskelbewegungen zu tun haben.

Einen anderen Weg beschritt BEZOLD (8), um die Wirkungsweise der Binnenohrmuskel (forthin mit BOM abgekürzt) darzustellen. Er brachte in den oberen Bogen gang ein Manometer ein. Durch Prüfung der Flüssigkeitsverschiebungen im Labyrinth konnte er so die Hammer- und Amboßbewegungen nachweisen, wobei bei Durchtrennung sowohl des musculus tensor tympani (m. t. t.) als auch des musculus stapedius (m. st.) eine gewisse Vergrößerung des Manometerausschlages feststellbar war. BEZOLD deutete damals sein Versuchsergebnis so, daß die BOM die Trommelfellgehörknöchelchen-Kette in einem Gleichgewicht zu halten hätten, damit auch die schwächsten Schallwellen noch eine Bewegung auslösen könnten.

Die damals neuen Erkenntnisse von POLLAK (11), HAMMERSCHLAG (13) und später auch von KÖHLER (14), nämlich, daß die Tensospannung von der Schallintensität abhängig sei, ließ die Akkomodationstheorie, wie sie von MACH, KESSEL, LUCAE, HENSEN u. a. (16) vertreten wurde (zit. nach KOBRAK (15)) als unwahrscheinlich erscheinen, zumal auch schon früh eine Frequenzabhängigkeit der Kontraktion vom Erregungsschall vermutet und schließlich durch KATO (10) auch bewiesen und von KOBRAK (15) nochmals bestätigt werden konnte.

Die sog. Schutztheorie, damals besonders vertreten durch Joh. MÜLLER (17), HELMHOLTZ, HENLE, BRUCKE und OSTMANN (18) (zit. nach KOBRAK (15)) rückte damit wieder in den Vordergrund.

In einer weiteren Veröffentlichung von POLLAK (12) im Jahre 1886 wurde auf eine Verbindung von Akustikuskernen zu Trigeminuskernen der anderen Seite hingewiesen. POLLAK folgerte dies daraus, daß bei Tierversuchen nach Zerstörung der Schnecke und des Nervus acusticus der einen Seite eine Muskelzuckung von der anderen Seite her auslösbar war.

Zahlreiche Einzelbeobachtungen, besonders im Tierversuch, ließen sehr bald ein aktives Eingreifen der BOM während des Hörens erkennen. Dennoch, wohl

aufgrund des damaligen Untersuchungsmaterials, wurden die "Binnenohrmuskeln im allgemeinen beim Menschen als rudimentär und als außer Funktion" betrachtet. So steht es 1926 noch im Handbuch der Physiologie (19).

Beim Studium der frühen Literatur über die BOM-Tätigkeit muß zusammenfassend festgestellt werden, daß es eine große Anzahl von sich widersprechenden, teilweise unentwirrbaren Einzelbeobachtungen gibt, wobei oft Behauptung gegen Behauptung steht. Es ist ein großes Verdienst von KOBRAK (20), der in seiner umfassenden Arbeit "Zur Physiologie der Binnenmuskeln des Ohres" eine geordnete Zusammenstellung der damaligen Erkenntnisse bringt, wobei im Tierexperiment zunächst ein zuverlässiges Beobachtungsmaterial gesammelt und dann versucht wurde, diese experimentellen Befunde auch auf das menschliche Mittelohr zu übertragen.

III. DIE MITTELOHRMUSKELN

1) Die zwei kleinen, im Mittelohr gelegenen Muskeln sind erst seit dem 16. Jahrhundert sicher bekannt und beschrieben. VESALIUS (21) scheint 1543 den "musculus tensor tympani" als eigenes Gebilde erstmalig erkannt zu haben - aber nicht als muskuläre Struktur. Von EUSTACHIUS (22) stammt aus dem Jahre 1563 eine deutliche Erwähnung des Muskels als "musculus internus" im Zusammenhang mit den Gehörknöchelchen und Gelenken. Er nahm an, daß dieser Muskel der Schallwahrnehmung diene. Der Name "musculus tensor tympani" soll von B. S. ALBINUS (1697-1770) stammen (23). Noch im Jahre 1572 wird von VAROLIUS (24) die Existenz des musculus tensor tympani bestritten. Er berichtigt sich aber 1591 und bringt neben der Darstellung des musculus tensor tympani eine erste klare Beschreibung des musculus stapedius. Dabei wurde damals der Mittelohrmuskelapparat mit den Iris-Muskeln des Auges verglichen.

2) Anatomischer Feinbau der Binnenohrmuskeln

Beide BOM zeigen auch beim Normalen einen individuell unterschiedlichen Gehalt an Muskelfasern (Dietzel (109)). Eine umfassende Beschreibung der Mittelohrmuskeln des Menschen nach eigenen Untersuchungen und unter zahlreichen Literaturhinweisen auf frühere Untersuchungen mit kritischen Anmerkungen hierzu, stammt von BRZEZINSKI (30). Es wird bei (30) neben der topographischen Beschreibung beim Muskelfeinbau auf den hohen Bindegewebeanteil in beiden Muskeln verwiesen und auf die auffallend zahlreichen Nervenfasern und Blutgefäße neben dem Fettgewebe hingewiesen. Entgegen früheren Literaturangaben wird hier nachgewiesen, daß beide Muskeln die feinsten Muskelfasern aufzeigen, beide Muskeln gefiedert sind und die Endsehnen beider Muskeln von einer Sehnen Scheide umgeben sind. Beim m. t. t. strahlen dabei zusätzlich noch Kollagenfasern aus der Wand des Knochenkanals in die Endsehne, ohne Einfluß auf die Wirkungsrichtung des Muskels, ein. Dies angeblich als Schutz gegen passive Überdehnung und vielleicht auch als Schutz für die Muskelspindeln, die nur im m. t. t. zu finden sind, während sie im m. st. fehlen. Bestätigt wird dieser Befund von CANDIOLLO (31) et al. unter Zitierung weiterer Autoren.

Hingegen werden von BLEVINS (32), wie schon früher von STEINITZ (33), auch im m. st. solche Muskelspindeln beschrieben. Die Ansicht war, daß der Sinn der Muskelspindeln ähnlich sei, wie der bei den Augenmuskeln, nämlich den Kontraktionszustand der Muskeln zu unterscheiden. Nach (30) deutet der histologische Bau beider Muskeln auf eine relativ große Kraftentfaltung bei geringem Bewegungsmaß hin.

Andere Untersuchungen von BLEVINS (34) über Nerven- und Muskelfasern im m. st. ergaben ein Abnehmen der Fasern mit dem Wachstum bzw. dem Alter des Individuums. Gezählt wurden die mot. Einheiten am Fötus, am Neugeborenen und am Erwachsenen. Die Zahl der Nervenfasern verringerte sich in dieser Zeitspanne um 42%, die der Muskelfasern um 76%.

Von NOJIRI (35) wurde in Serienschnitten der histologische Aufbau des m. st. genau untersucht. Aufgrund des intramuskulär gut entwickelten Plexus beschreibt er den m. st. als einen Übergangstyp zwischen den äußeren Augenmuskeln und den Rumpfmuskeln. Die motorischen Endplatten werden dabei in zwei Typen unterteilt. Muskelspindeln im m. st. hingegen konnte er in mehreren Fällen nicht finden.

Morphologische und histochemische Untersuchungen der BOM-Struktur durch HOSHINO (36) haben aufgezeigt, daß beide Muskeln zu den sog. federförmigen gehören, die funktionell zu schnellen Bewegungen geeignet sind. Aufgrund von Fermentaktivitäten werden für beide Muskeln zwei verschiedene Faserarten angenommen, die phasischen und tonischen. Hingegen nur im Tierpräparat (bei Katzen und Kaninchen) zeigte HAYATA (37) durch histochemische Untersuchungen drei Fasertypen in den BOM auf.

Durch die Aufhellung des aeroben und anaeroben BOM-Stoffwechsels beim Meerschweinchen durch GERHARDT et al. (38) wird nachgewiesen, daß diese Muskeln zur Dauerkontraktion befähigt sind. Ferner wird noch besonders der größere Mitochondriengehalt des m. st. gegenüber dem m. t. t. erwähnt, wobei ersterer darin fast dem Herzmuskel gleicht. In (38) wird somit auch die Auffassung von Simmons und Wigand unterstützt, daß die BOM eine kontinuierliche tonische Funktion haben.

Zu einem extrem negativen Urteil über die Bedeutung der BOM kommen LOTZ et al. (39) nach biochemischen Untersuchungen beim Menschen und anderen Tierarten an BOM-Präparaten. Beim Hammel, Schwein und Rind sollen die BOM noch von erheblicher Bedeutung sein, während sie beim Menschen, den Katzen und Ratten funktionell verkümmert seien.

Unter Zitierung von MEYER, 1967, und unter Bezugnahme auf die eigenen Untersuchungsergebnisse, meint man in (39), daß der Verlust oder die Erhaltung der BOM bei operativen Eingriffen für das Hörvermögen der Menschen weniger wichtig sei, da keine oder funktionell nur sehr unwesentliche Einbußen die Folge seien. Weiterhin wird bei (39) behauptet, daß zwischen Innenohrleistung und BOM funktionell kein direkter Zusammenhang bestehe.

Anders wieder die Auffassung von TERRACOL et al. (40). Hier wird die Rolle des m. t. t., reich an proprioceptiver Innervation, als Regler der Trommelfell-

vibrationen bezeichnet, während der m. st. ohne Muskelspindeln nur über die Reflextätigkeit einen Schutz des Innenohres als Anpassungselement auszuüben habe.

Zusammenfassend muß gesagt werden, daß auch durch Erforschung der Feinstruktur beim BOM noch keine endgültige Aussage über dessen Funktion zu gewinnen ist.

IV.

BISHERIGE ERKENNTNISSE ÜBER DEN AKUSTISCHEN REFLEX

1) Wesen des akustischen Reflexes

In zahlreichen Tierversuchen war man schon früh dem Phänomen der reflektorischen Binnenohrmuskelzuckungen begegnet, wobei anfangs eine direkte Anregung durch die Schallwellen angenommen wurde. ARNOLD (25) sah dann die Reflexsteuerung für den m. t. t. im Ganglion oticum. Auf die sensorische Natur des Mittelohrreflexes wird von Joh. MÜLLER (17) hingewiesen.

Den Nachweis einer akustisch-sensorischen Reflexaktivität konnten HENSEN 1878 und BOCKENDAHL (9) 1880 dadurch erbringen, daß sie an Hunden durch Ton- und Geräuschreize reflektorische Zuckungen des m. st. und des m. t. t. auslösten. Am Menschen wurde der akustische Tensorreflex durch OSTMANN (26), der akustische Stapediusreflex durch LÜSCHER (27) erstmals klar beschrieben.

Unter akustischem Reflex, in der Literatur auch mit Mittelohrreflex, Binnenohrmuskelreflex oder ähnlichen Ausdrücken belegt, versteht man die Kontraktion des vom Nervus facialis direkt innervierten Musculus stapedius und des vom Nervus pterygoideus medialis, einem Ast des Nervus trigeminus, sowie vom Plexus tympanicus innervierten Musculus tensor tympani (BURGHOFF (28)).

Während also der m. st. nur einfach innerviert wird, ist die Innervation des m. t. t. viel komplizierter, wie es Lawrence (29) erst in neuerer Zeit aufzeigen konnte. Der Muskelanfang wird vom mandibularen Ast des Trigeminus über das Ganglion oticum innerviert. Zum Insertionsende des Muskels hingegen führen außerdem noch Nervenäste, die der Muskel vom Plexus tympanicus aufnimmt, bevor dieser Nerv in den N. petrosus superficialis minor übergeht.

Der Musculus tensor tympani zieht dabei das Trommelfell einwärts, der Musculus stapedius verkanntet den Stapes. Insgesamt werden durch diese Muskelkontraktionen die Gehörknöchelchen fester aneinander gepreßt. Dies bedingt eine höhere Steife der Gehörknöchelchenkette, wodurch - als eine der meßbaren Größen - auch die Impedanz am Trommelfell erhöht wird.

2) Verschiedene Möglichkeiten der Auslösung des akustischen Reflexes (AR)

Der AR wird adaequat durch Schallreize bestimmter Intensität, aber auch durch mechanische und elektrische Einwirkungen auf verschiedene Kopfparten, ausgelöst (BURGHOFF (28)). Zunächst war die mechanische Reflexauslösung nur im Tierversuch nachzuweisen. Heute lassen sich diese Versuchsergebnisse vorbehaltlos auch auf den Menschen übertragen. KATO (10), PICHLER und BORNSCHNEIN

(55), DJUPESLAND (59), KLOCKHOFF (60), KRYTER (61), LEHNHARDT (2). Auch bei Schallzuführung durch den Knochen ist der Reflex auszulösen, wenn entsprechend starke Tonintensitäten einwirken (MEYER und SCHLOSSHAUER (48)).

Daneben kommt es aber bei den BOM auch zu Spontankontraktionen, die als "Knacken" im Ohr wahrgenommen werden und auch willkürlich auszulösen sind. Diese Spontankontraktionen lassen sich aber zunächst nicht sicher in den physiologischen Ablauf des Hörvorganges einordnen, MANGOLD (62). Sie sind beim Menschen und bei Tieren zu beobachten, WIGGERS (63).

Die willkürliche BOM-Kontraktion kann auch bei Erwartung eines lauten akustischen Ereignisses auftreten. Der Reflex läßt sich also auch konditionieren. POTTER (64), SIMMONS et al. (65). Inwieweit bei Muskelspannung der Reflex auch willkürlich relaxiert werden kann, ist noch eine ungeklärte Frage. KRYTER (61). Ohne letztlich eine genaue Ursache angeben zu können, konnten CARMEL und STARR (66) im Tierversuch bei allgemeiner Körperbewegung, Drehreizen und Lautproduktion eine Reflexauslösung beobachten. Vermutlich sollen die tieffrequenten Eigengeräusche dadurch gedämpft werden, um akustische Wahrnehmungen, die höher frequent sind, nicht zu verdecken. SIMMONS (68) unterscheidet bei den BOM-Aktivitäten zufällige und intermittierende Kontraktionen bzw. Änderungen des Muskeltonus ohne akustische oder andere auslösende Reize, Reflexkontraktionen und Kontraktionen, verbunden mit anderen motorischen Aktivitäten.

Die intermittierenden und zufälligen Kontraktionen sind im Wach- und Aufmerksamkeitszustand am größten. Sie sollen dadurch Resonanzen verhindern und der Aufrechterhaltung einer "akustischen Aufmerksamkeit" dienen. Denn unterbrochene und in Tonhöhe und Intensität ständig wechselnde Töne sind leichter wahrzunehmen und auch leichter in der Rindenaktivität zu erkennen. Gleichmaßen sollen auch Kopf- und Kieferbewegungen wirksam sein. Gleiche Signale, ständig wiederholt, bringen rasch eine Gewöhnung und den Wegfall der Reflexkontraktion. Außerdem soll die kurze Muskelkontraktion eine Schalllokalisierung ermöglichen.

Durch Ableitung der Mikrofonpotentiale und der Stapedius-Muskelpotentiale weist HENSON jr. (67) bei der Fledermaus nach, daß sie 4-10 msec vor Ausstoßen ihres Orientierungslautes den m. st. kontrahiert und die Entspannung erst unmittelbar mit dem Orientierungsruf einsetzt, wobei sich diese über die gesamte Zeit des Rufes hinzieht. Durch diese Muskelkontraktion wird eine verminderte Eigenempfindlichkeit des Ohres um ca. 10 dB erreicht und damit eine Vertäubung des eigenen Ohres durch den Eigenlaut vermieden. Interessant ist, daß der m. t. t. bei dieser Aktion nicht beteiligt ist. Es wird hier von einer sog. "Stapedius-Laryngeal-Muskel-Koordination" gesprochen.

Die Reflexauslösung und Steuerung bei Schallreiz erfolgt dadurch, daß die Amplitude der Schalleitungskette den Muskelapparat reflektorisch über die Bewegungen des Labyrinthwassers und der Reizung des N. cochlearis reguliert. Über cutane Reflexauslösung liegen nur Untersuchungen bei Ratten vor, die aber vermutlich auch für den Menschen Gültigkeit haben. LEHNHARDT (2).

3) Reflexablauf und Reflexgeschwindigkeit beim akustisch erregten AR

Der genaue Verlauf der Reflexbahnen, auf denen ipsilaterale und kontralaterale Reflex-Antworten übermittelt oder vermischt werden, ist noch nicht vollständig bekannt. SIMMONS (73).

Die Impulse laufen über den N. acusticus zum Nucleus cochlearis in die Medulla oblongata und von dort zum Corpus geniculatum und Nucleus olivarius - so nach LORENTE de NO (92), BURGHOFF (28). Die Umschaltung von den sensiblen auf die motorischen Fasern erfolgt nach TORUK im Tractus solitarius der Substantia reticularis. Der Reflex tritt stets beidseitig auf, auch, wenn er nur einseitig ausgelöst wird.

LEHNHARDT (2) bezeichnet den N. cochlearis (N. acusticus) als den afferenten Teil des Reflexbogens, der zu den ventralen Cochleariskernen führt, die im unteren Anteil der Pons, vor und seitlich des Corpus restiforme gelegen sind. Seine Neuriten verlaufen zur Medianlinie, kreuzen zum Teil die der Gegenseite und bilden mit ihnen den Trapezkörper. Hier liegt der obere Olivenkern, der wahrscheinlich über das mediale Längsbündel mit den Kernen des Trigeminus und Facialis in Verbindung steht. Der Reflexbogen des Tensors ist weiter rostral ausgedehnt als der des Stapedius. An dem Reflexbogen sind etwa sechs Neurone beteiligt.

Interessant ist in diesem Zusammenhang eine Mitteilung von CARMEL & STARR (66), die nach Durchtrennung des N. acusticus einer Seite eine fünffache Verlängerung der Reflexzeit dieser Seite und nur noch die halbe Dämpfungswirkung des kontralateral erregten Reflexes beobachten.

Nach WIGAND (58) wird das Zusammenspiel der Mittelohrmuskeln durch sensorische Reflexe gesteuert, wobei sich die Muskelaktionen als automatisierte Muskelreaktion darstellen, die bei ausreichend starker Schalleinwirkung von Nervenzentren in der Hörbahn ausgelöst werden. Auf weniger lautstarke Schallsignale und Geräusche reagieren die Muskeln träger. Die Reflexauslösung ist demnach vom Frequenzspektrum und von der Schallintensität des Reizes abhängig. Fällt das Gehör aus, so kann auch ein Schallreiz keine reflektorische Muskelzuckung mehr auslösen. Einer sog. Eigenreflexsteuerung wird von WIGAND damit wider-

sprochen.

Nach CEMACH (4) fehlt der allgemeine Muskelreflex bei kompletter Taubheit, soll aber bei den geringsten Hörresten in Erscheinung treten, sofern der Schall intensiv genug ist.

DJUPESLAND (59) führt jedoch aus, daß der Stapediusmuskelreflex auch unabhängig vom Hörvermögen aufzutreten pflegt, wie er bei Ohrenoperationen zeigen konnte.

Mit der Beobachtung, daß der AR unabhängig vom Hörvermögen auftreten kann, könnte der histologische Befund von LÜSCHER (111) erklärt werden, der mit KOBRAK bei Taubstummen-Felsenbeinpräparaten das Fehlen von BOM-Atrophiezeichen nur dahin zu deuten wußte, daß er bei Taubstummen einen prinzipiell vom normalen abweichenden Reflexmechanismus vermutete, der die Muskeln bewegt.

Ein über die im m. t. t. liegenden Muskelspindeln aktiv gesteuertes Regelsystem sieht BRZEZINSKI (30) im Trommelfell, Gehörknöchelchen und BOM. Bei den stets tonisierten Muskeln löst die Hammergriffschwingung über die Muskelspindeln, deren adäquater Reiz aktive und passive Längen- und Dickenänderungen der transfusalen Fasern sind, eine reflektorische, quantitativ abgestufte Schutzkontraktion beider Muskeln aus. Die Ansicht der reflektorischen Eigenregung durch die Muskelspindeln wird auch von LANDOIS - ROSEMAN (71) und ROSSDERG (121) diskutiert.

Über die akustischen Reflexaktivitäten beider Muskeln beim Menschen gibt es in der Literatur noch sehr unterschiedliche Auffassungen. TERKILDSSEN (69) beschreibt eine Methode der intra-auralen Muskelreflex-Darstellung und kommt dabei zu dem Ergebnis, daß in 95% der untersuchten normalen Ohren der akustische Reflex insgesamt nachweisbar war. In 40% der Fälle war der akustische Reflex beider Muskeln vorhanden. In 33% der Fälle war nur der Stapedius- und in 22% der Fälle nur der Tensorreflex vorhanden. Trotzdem bezeichnet TERKILDSSEN beide Muskeln im menschlichen Ohr als akustisch aktiv.

Keine Impedanzänderung konnte FELDMAN (70) dann beobachten, wenn die Kontraktion des m. st. ausgeschlossen war (Otosklerose, Stapessehnedurchtrennung usw.), während bei durchtrennter Tensorsehne und sonst normalem Mittelohr immer ein akustischer Reflex nachweisbar war. Auf ähnliche Ergebnisse früherer Untersuchungen von JEPSEN 1955, KLOCKHOFF 1960 und SALOMON und STARR 1963 wird bei FELDMAN (70) noch verwiesen, der hier auch die Ansicht vertritt, daß beim Menschen eine Reaktion des m. t. t. nur durch allgemeine motorische Aktivität, nicht aber durch akustischen Reiz, erfolge.

Auch LIDEN et al. (72) berichteten, daß beim Menschen nach akustischer Belastung vorwiegend der m. st. durch reflektorische Kontraktion reagiert und nur bei einer kleinen Gruppe normaler Ohren (hier 13%) durch akustische Stimulation die Kontraktion beider Muskeln nachgewiesen werden konnte. Es wird weiter festgestellt, daß für den m. stapedius die Reflexschwelle gegenüber dem m. t. t. niedriger zu liegen scheint und daß, wenn nur der m. t. t. funktioniert, sein Reflex nicht durch akustischen Reiz ausgelöst werden kann.

Der Muskel-Reflex ist konsensuell, d. h., auch bei Reizung nur eines Ohres (= unilateraler Reiz) kontrahieren sich die BOM bilateral, also auch auf der Seite des nicht gereizten Ohres. SIMMONS (73), KATO (10), DJUPESLAND (59) u. a. Die Eigenschaft der konsensuellen Erregung findet heute im Rahmen der Impedanzmessung eine regelmäßige Beachtung.

TIETZE (74) beobachtet bei der Stapediusmuskel-Reflexauslösung bei normalhörenden Personen eine auffallende Seitengleichheit. BORG (75) konnte mittels Impedanzmessungen bei Personen mit peripheren Facialisparesen nachweisen, daß im Ohr der gelähmten Seite kein allgemein akustischer Reflex feststellbar ist. Nur ganz vereinzelt konnten Reaktionen mit sehr hoher Reflexschwelle beobachtet werden.

Über den Reflexablauf beim Menschen wurden von MÖLLER (76) mittels Impedanzmessungen sehr eingehende Untersuchungen durchgeführt, die folgendes aufzeigten:

Wird nur ein Ohr durch Schallreiz erregt, so ist die Empfindlichkeit des AR auf dem seitengleichen Ohr größer als auf dem kontralateralen. Erfolgt der Schallreiz beidohrig, so ist die Empfindlichkeit des AR wiederum größer als bei nur einseitiger Erregung, wobei dieser Effekt im tiefen Frequenzbereich ausgeprägter ist als bei Frequenzen von 1200 Hz aufwärts. Geräusche wiederum sind zur Auslösung des AR weit wirksamer als Sinustöne. Der Unterschied in der Sensibilität zwischen ipsilateraler und bilateraler Erregung ist bei Impulslärm deutlicher als bei Dauerreizung. Es treten dabei Muskelkontraktionen entsprechend der Impulsfrequenz auf, wobei es ab einer bestimmten Impulsfrequenz dann zu Dauerkontraktionen kommt.

Zwischen reflexauslösendem Schallereignis und Beginn der Muskelkontraktion liegt ein zeitlicher Abstand, entsprechend der Länge der Reflexbahn, der Zahl der Umschaltstellen und der Nervenleitungsgeschwindigkeit. Da beide Muskeln über zwei verschiedene Reflexbögen gesteuert werden, besteht natürlich für jeden der BOM ein bestimmter zeitlicher Abstand. Dieser zeitliche Abstand zwischen Schallereignis und Reaktion der BOM wird in der Literatur mit Latenzzeit oder Totzeit des Reflexes bezeichnet.

Heute wird die Latenzzeit als Zeitdifferenz zwischen dem Auftreffen der Schallwellen auf das Trommelfell und dem Beginn der Muskelkontraktion aufgefaßt. Neuere Untersuchungsmethoden nehmen statt der Muskelkontraktion die Änderungen der Mikrofonpotentiale. Im Meßergebnis beider Methoden besteht kein grundsätzlicher Unterschied. LEHNHARDT (2).

KATO (10) war 1913 einer der ersten, der Latenzzeitmessungen durchführte und Werte um 20 msec. feststellte. CASE (93) gibt die Latenzzeit für den m. st. - gemessen an der operativ freigelegten Sehne beim Menschen mit 10, 5 msec. an. FISCH und SCHULTHESS (94), ebenfalls am operativ freigelegten m. st. gemessen, geben sie mit 10-11 msec. beim Menschen an. NEERGAARD und RASMUSSEN (95) stellten mit einer oscillographischen Darstellung Latenzzeiten für den menschlichen Stapedius-Reflex von 15-41 msec. (Mittelwert 17 msec.) fest. Die Latenzzeit für den m. tensor tympani wird mit Werten von 90-300 msec. angegeben.

Die unterschiedlichen Meßwerte sind durch die verschiedenen Meßmethoden zu erklären; so ist die Latenzzeit bei elektromyographischer Ableitung aus den Muskeln mit eingestochener Elektrode zahlenmäßig kleiner als beim Impedanzmeßverfahren.

OKAMOTO et al. (96) demonstrieren das Zustandekommen der verschiedenen Meßwerte. Sie registrieren mittels eingestochener Nadelelektrode in den m. t. t. der Katze bereits 5-9 msec. nach Beschallung Spitzenentladungen, nach 18-19 msec. erst die Trommelfell-Einwärtsbewegung und nach 60 msec. das Retraktionsmaximum.

KATO (10) und TOTSUKA et al. (97) weisen bereits früh auf eine Abhängigkeit der Reflexgeschwindigkeit vom angebotenen Frequenzspektrum hin, ohne jedoch darüber genauere Zahlenangaben zu machen. Sie berichten von einer Verlängerung der Latenzzeit bei tiefen Tönen.

Durch LORENT de NO (82), METZ (98), WIGAND (58, 110) u. a. wurde im Tierversuch die Abhängigkeit der Latenzzeit vom Frequenzspektrum und von der Intensität des Reiztones nachgewiesen.

Die Latenzzeit hatte in den mittleren Frequenzen (1200 - 2000 Hz) ein Minimum von 9 msec., nahm aber zu höheren und tieferen Frequenzen hin deutlich zu.

Die Latenzzeit ist aber auch von der Reizstärke abhängig und schwankt zwischen 20 und 200 msec. HARPER, MÖLLER, zit. nach BURGHOF (28).

Exakte Untersuchungen über die Latenzzeit und über die Abhängigkeit zwischen Latenzzeit und Schallstärke stammen von WERSÄLL (50). Er zeigt auf, daß die Dauer der Latenzzeit, gemessen vom Reizbeginn bis zum ersten Kontraktions-

zeichen, für den m. st. 10 msec. und für den m. t. t. 16 msec. beträgt, bei einer Lautintensität von 135 dB und einer Frequenz von 1000 Hz. Bis zur Erreichung von 50% der Maximalspannung ab Reizbeginn dauert es beim m. st. 43 msec., beim m. t. t. 61 msec. Die Maximalspannung wird beim m. st. nach 63 msec., beim m. t. t. nach 132 msec. erreicht. Die BOM-Kontraktionen vollziehen sich nicht gleichzeitig. Der m. st. kontrahiert sich nicht nur zuerst, sondern auch wesentlich rascher, d. h., er hat seine volle Zugkraft vor dem m. t. t. erreicht. Erst mit größerer Lautstärke setzt die Tensorkontraktion ein. Bei der BOM-Tätigkeit liegt ein zweistufiger Funktionsablauf vor.

Eine feinstufige Regelung der Muskelkontraktionen, in Abhängigkeit von der Reizintensität, soll nach BORNSCHEIN und KREJCI (99) vom Ruhetonus der Muskeln ausgehen und durch die in den Muskeln in großer Zahl vorhandenen, unabhängigen, motorischen Einheiten erfolgen.

4) Auswirkungen des AR auf den Schallübertragungsmechanismus

Die mechanische Wirkung der Mittelohrmuskeln ist bereits durch HELMHOLTZ (6) klar umrissen worden. In neuerer Zeit weiß man auch, in welchem Ausmaße der Muskelzug beim Menschen gleichzeitig den Schallwellenwiderstand erhöht, den das Trommelfell der schwingenden Luftsäule des äußeren Gehörganges entgegengesetzt. Diese Erweiterung unserer Erkenntnisse brachte uns METZ (41) mit seiner wegweisenden Untersuchungsmethode der Impedanzmessung.

Bedingt durch die günstige topographische Lage des m. st. war es hier relativ früh möglich, die Muskelreaktionen direkt am lebenden Menschen zu beobachten. LÜSCHER (27). Bei der Beobachtung und Erforschung des Zusammenspiels beider Muskeln einschließlich der Einzelbeobachtung des m. t. t. war man lange Zeit nur auf Tierversuche oder auf menschliche Felsenbeinpräparate angewiesen. KATO (10).

Die Erkenntnis, daß die BOM-Aktivitäten durch Schallreize ausgelöst werden konnten, brachte im Laufe der Forschung die verschiedensten Theorien über die möglichen Auswirkungen des AR auf den Schallübertragungsmechanismus hervor. Diese Theorien sollen hier kurz angesprochen werden:

a) Akkomodationstheorie

Die BOM-Tätigkeit sollte zur besseren Anpassung des Schalleitungsapparates an den zugeführten Schall führen. Allein die Tatsache, daß dieser Reflex überhaupt erst bei Lautstärken von mindestens 40 dB ausgelöst werden konnte, läßt die Akkomodationstheorie unwahrscheinlich erscheinen. CANCURA (116).

b) Klirrhypothese

Durch das Aufeinanderpressen der Gelenkflächen bei der Muskelkontraktion sollte bei lautem Schall ein Lösen der Gelenkflächen und nachfolgendes Aneinanderschlagen vermieden werden. Auch hier läßt die Tatsache, daß zwei Muskeln mit unterschiedlicher Reflexschwelle und verschiedener Latenzzeit in Aktion treten sollen, diese Hypothese unwahrscheinlich erscheinen. CANCURA (116). Weiter sprechen gegen diese Theorie die auftretende Reflextaubheit bei Sinustönen und die Reflexkurve mit ihrer Abnahme bei hohen Frequenzen. LÜSCHER (119).

c) Schutztheorie

Im Tierexperiment und an Schläfenbeinpräparaten beobachtete man schon früh, daß durch Muskelzug es zu einer Amplitudendrosselung der angebotenen Schallwellen kam. Aus dieser Erkenntnis schloß man auf eine Schallschutzfunktion des AR.

Schon JOH. MÜLLER, HELMHOLTZ, HENLE, BRÜCKE, KATO, POLITZER (zit. nach KOBRAK 15, 20, 20a) u. a. vertreten diese Ansicht einer Schutzfunktion. Aber auch spätere Untersucher, wie KOBRAK (43), GALAMBOS et al. (42), MEYER und SCHLOSSHAUER (48), HILDING und FLETCHER (49), WERSÄLL (50), LEHNHARDT (2, 51) u. a. bestätigten durch weitere Beobachtungen diese Meinung.

Allerdings fehlt es auch nicht an Stimmen, die diese Theorie in Frage stellen oder zumindest die Schutzwirkung für unbedeutend erachten.

Die Amplitudenveränderungen unter dem Einfluß der BOM-Tätigkeit waren Gegenstand zahlreicher Tierversuche, Experimente an menschlichen Felsenbeinpräparaten und audiometrischer Untersuchungen am Menschen. Von KOBRAK (20a) stammt aus dem Jahre 1932 eine erste graphische Schwingungsamplitudenaufzeichnung der Gehörknöchelchen unter BOM-Einfluß. Hierbei ließ sich der Einfluß beider BOM auf die Empfindlichkeit der Schalleitungskette klar demonstrieren, wenngleich auch die Druckänderungen im Versuch von langsamer Frequenz waren, die keinen eindeutigen Schluß auf die Sprachfrequenzen zuließen. Es zeigte sich aber, daß der m. t. t. besonders die Beweglichkeit des Malleus, der m. st. die des Stapes dämpft.

Angeregt durch Untersuchungsergebnisse von WEVER und BRAY zit. n. LEHNHARDT (51), die unter anderem im Tierversuch nachweisen konnten, daß sich die Resonanzfrequenz des Schalleitungsapparates durch die Anspannung des m. t. t. von 2 500 Hz in den Bereich von 3 500 Hz verschiebt - Ähnliches konnten WEVER und BRAY auch für den m. st. nachweisen - stellte LEHNHARDT (51) eigene Versuche über die Beeinflussung der Empfindlichkeitskurve des menschlichen Ohres durch die BOM- bzw. Reflexaktivität an, zumal auch die Auswertung der Unter-

suchungsergebnisse über Kurven gleicher Lautstärken von FLETSCHER und MUNSON (zit. n. LEHNHARDT (51)) eine ähnliche Verschiebung der Empfindlichkeitsmaxima in Abhängigkeit von der Lautstärke erkennen ließ. LEHNHARDT konnte dann klar nachweisen, daß der Hörverlust, der nach entsprechender Geräuschbelastung normalerweise bei 4 000 Hz gelegen war, nach Ausschaltung der BOM die Frequenzen um 3 000 Hz am stärksten trifft. Die BOM-Kontraktion nimmt also auf die Stelle des größten Hörverlustes Einfluß und zwar in der Form, daß dadurch die Empfindlichkeitsmaxima des Gehöres um etwa eine halbe Oktave zu den höheren Frequenzen hin verschoben werden. Es wird bei (51) daraus gefolgert, daß durch diesen Effekt des AR die Lärmsenke eben nicht bei 3 000 Hz, sondern bei 4 000 Hz entsteht. Also ein Schutzvorgang, der über eine reine Dämpfungswirkung der BOM im unteren Frequenzbereich hinausgeht.

Von FRANZ (52) wird die Schutztheorie als "typisches Kind unserer Zeit" bezeichnet. Er erkennt aber die Tierversuche von KATO und TARUYA, die nach einseitiger Stapediusdurchtrennung beide Ohren hohen Schallintensitäten aussetzten, als wichtiges Argument für eine Schutztheorie an. Die histologische Untersuchung zeigte nämlich eine geringere Schädigung auf dem Ohr mit funktionfähigem Muskel. Auffällig bei diesen Versuchen war noch, daß die Schädigung bei Tensordurchtrennung ausgeprägter war als bei Stapediusausschaltung.

In zahlreichen Tierversuchen und auch an menschlichen Felsenbeinpräparaten bemühte man sich weiter, die Frequenzbereiche festzustellen, die durch die BOM-Kontraktionen beeinflusst werden. Die Untersuchungsergebnisse stimmten fast durchwegs darin überein, daß eine Verminderung der Schwingungsamplituden besonders im Tief- und Mitteltonbereich eintritt, die stärkste Wirkung bei tiefen Tönen, während Frequenzen über 2 000 Hz kaum oder gar nicht beeinflusst werden. GERHARDT und WAGNER (102).

NEEFGAARD et al. (53) berichten über experimentelle Untersuchungen an menschlichen Schläfenbeinpräparaten. Ein Spannen bzw. ein Ziehen am m. stapedius bewirkt eine deutliche Dämpfung aller Frequenzen. Besonders ausgeprägt ist die Wirkung jedoch im niedrigen Frequenzbereich. Durch Zug am m. t. t. werden ebenfalls die tiefen Frequenzen beeinflusst, jedoch in einem verfeinerten Bereich. Werden aber sehr hohe Frequenzen angeboten, so soll ein besonders gearteter physikalischer Mechanismus ohne Muskelbeteiligung zur Wirkung kommen, der die Übertragung solcher Frequenzen verhindert. In (53) wird die Ansicht vertreten, daß beide Muskeln unabhängig voneinander arbeiten. Für ein Frequenzband von 125-3 500 Hz wird bei einem Reizwert von 137 dB eine gemessene Verminderung von insgesamt ca. 20 dB durch die "drei Mechanismen" bewirkt.

DISHOECK (54) ist der Ansicht, daß eine Schutzwirkung der reflektorischen

BOM-Kontraktionen nur für Lärm von relativ niedriger Frequenz, nicht aber für "schädliche" Frequenzen über 2 000 Hz und höher angenommen werden kann. Die audiometrischen Untersuchungen über Dämpfungswerte, ausgeführt von PICHLER und BORNSCHEIN (55) am Menschen, zeigen bei elektrischer Reizung der BOM im Tieftonbereich Dämpfungswerte von ca. 12 dB, bei 1 000 Hz nur noch Werte von 5-10 dB.

Eine neuere Untersuchung über den Einfluß der BOM auf die Schallübertragung im Mittelohr des Menschen stammt von CANCURA (56). Hier wird bestätigt, daß eine Zugbelastung des m. t. t. vorwiegend im Tieftonbereich eine Amplitudendämpfung von durchschnittlich 7-8 dB bewirkt, wobei die maximale Zugkraft des Muskels mit 50 gr. angegeben wird. Beim m. st. wird bei maximaler Zugkraft von 10 gr. ebenfalls nur im Tieftonbereich eine Amplitudendämpfung von 10 dB bewirkt. Bemerkenswert ist hier die Erkenntnis, daß die Amplitudendämpfung sich zur aufgewendeten Zugkraft nicht linear verhält, sondern mit zunehmender Zugkraft beider Muskeln der Dämpfungseffekt relativ geringer wird. Effektiv ist der m. st. bei der Amplitudendrosselung viel wirksamer als der m. t. t., eine Feststellung, die auch schon KATO (10) treffen konnte. Bei über 2 000 Hz bewirkt der Zug sowohl am m. st. als auch am m. t. t. eine Übertragungsverbesserung, die durch Eigenresonanzerhöhung zu erklären ist. Bei Frequenzen um 3 000 Hz und darüber war keine Änderung der Schalleitung mehr zu beobachten. Der Synergismus beider Muskeln bei der Funktion der Amplitudendrosselung wird bestätigt, wobei der Dämpfungswert die Summe beider Einzelwerte sein soll. Bei der Wirkung der Muskeln auf die Gehörknöchelchenkette jedoch soll der m. t. t. Antagonist zum m. st. sein. Dadurch soll besonders der Vestibularapparat vor allzu großen, extrem niederfrequenten Druckschwankungen geschützt werden.

Im Tierexperiment kamen GERHARDT et al. (114) zu einer ähnlichen Ansicht. Bei Kraftentwicklung sind der m. st. und der m. t. t. Antagonisten, aus physiologischer Sicht Synergisten.

Durch die Defektheilungen einer Bellschen Fazialisparese und einer traumatischen Fazialisparese wurden klinische Beobachtungen möglich, weil die Fazialisinnervation hier willkürlich möglich war.

SZEKELY, zit. nach CANCURA (116) berichtet, daß die Hörschwelle bis 2 000 Hz in einem Ausmaß von 20 bis 30 dB herabgesetzt werden konnte. CANCURA selbst berichtet von einer Hörschwellenherabsetzung von etwa 15 dB bis 2 000 Hz. Eine Beeinflussung der Amplituden über 2 000 Hz war nie nachweisbar. Einschränkung hierzu meint CANCURA, es gebe keinen sicheren Hinweis auf das physiologische Geschehen. Es wird eher vermutet, daß es sich bei der Höhe der Dämpfung von 15 bis 30 dB um eine überschießende Reaktion handelt.

Die Erkenntnisse über die Latenzzeit, aber auch das relativ kleine und niederfrequente Frequenzspektrum der wirksamen und nachgewiesenen Amplitudendämpfung, wird als Hauptargument gegen die Schutztheorie angeführt. Die niedrige Dämpfungswirkung von ca. 10 dB ist ein weiteres Gegenargument.

Während OKAMOTO (96), SATO, KIRIKAE, PERLMAN (100), REICHARDT und MÜLLER (90) u. ä. die Schutzwirkung nur unter bestimmten Bedingungen verneinen (so bei kurzen und lauten Schallimpulsen), wird von WIGAND (101) die Schutztheorie rundweg abgelehnt. In einer anderen Veröffentlichung (58) weist er dem AR eine andere Funktion zu.

d) Steigerung der Informationskapazität

Neuere elektromyographische Messungen von WIGAND (58) sehen in den BOM eine Dämpfungswirkung auf die Ausschwingvorgänge der Schalleitungskette. Durch diese Reflexaktivität der BOM soll angeblich die Informationskapazität gesteigert werden, indem die Ausschwingzeiten des Schalleitungssystems, das ja ein schwingungsfähiges System darstellt, verkürzt werden. WIGAND vermutet hierin sogar den wertvollsten Beitrag des AR. So läßt sich auch bei Patienten ohne AR (z. B. bei Facialisparesie oder nach Steigbügeloperationen mit Stapes-sehnnendurchtrennung) tatsächlich häufig eine auffällige Störung des Sprachverständnisses feststellen. Im Tierexperiment konnte nachgewiesen werden, daß die Reizfolgeströme, vom runden Fenster abgeleitet, mit der Reflexaktivität übereinstimmen, wobei der Stapesreflex sich vorwiegend als tonischer Reflex darstellt. Dieser tonische Reflex springt nicht erst auf hohe Lautstärken an, sondern er hat auch bei niedrigem Lautstärkepegel seine besondere Wirksamkeit, die, bezogen auf das menschliche Gehör, noch im Umgangssprachenbereich liegen würde.

5) Der AR in Abhängigkeit von Frequenz, Lautstärke, Dauer- und Impulsreiz

Bei der ersten Stapedius-Reflex-Beschreibung am lebenden Menschen durch LÜSCHER (27) mit reinen Tönen wird festgestellt, daß der Reflex nur in einem bestimmten Frequenzbereich von 90 - 14000 Hz auslösbar sei, wobei der Ton eine bestimmte, von der Tonhöhe abhängige Intensität haben mußte. Bei geringer Tonintensität treten keine oder anfangs nur kurzdauernde Muskelzuckungen, mit zunehmender Intensität schließlich Muskeldauerkontraktionen auf, die sich erst mit Tonunterbrechung wieder lösen. Auf die großen individuellen Schwankungen beim Reflexablauf wird bei LÜSCHER bereits verwiesen. Wurden reine Töne über längere Zeit angeboten, so kam es zu einer sog. Reflextaubheit für diese spezielle Tonfrequenz, d. h., trotz Reizton erschlafft der Stapediusreflex

nach anfänglicher Reaktion. Andere Tonfrequenzen rufen aber während dieser Zeit weiterhin Reflexkontraktionen hervor. Dies wurde bestätigt durch Veröffentlichungen von MEYER und SCHLOSSHAUER (48) und JOHANSSON (85).

Die "Ermüdungszeit" ist dabei für hohe Töne länger als für tiefe. Die Erholung, d. h. die Rückkehr der Reflexerregbarkeit vollzieht sich innerhalb von Minuten. KATO (10) konnte im Tierversuch Ähnliches beobachten.

WERSÄLL (50) konnte nachweisen, daß die neue Frequenz zur neuerlichen Kontraktionsauslösung in einem bestimmten Abstand zum ersten "Ermüdungston" stehen muß. Bei 1000 Hz beispielsweise reicht die Reflextaubheit bis 2100 Hz.

Exakte Schwellenwerte der Tonintensitäten für sichtbare Stapediuskontraktionen am lebenden Menschen konnten MEYER und SCHLOSSHAUER (48) festlegen. An der Hörschwelle wurden nie Muskelkontraktionen beobachtet. Sie traten erst bei stärkeren Tonintensitäten und in Abhängigkeit von der Frequenz auf. Bei Tönen unterhalb von c^1 (256 Hz) und oberhalb von c^6 (8192 Hz) waren auch bei größten Tonintensitäten keine sichtbaren Muskelkontraktionen auszulösen. Größte Reflexempfindlichkeit wird von c^3 - c^5 angegeben, wobei dann nach oben und unten hin die Empfindlichkeit stark abnimmt.

Bei c^4 setzt die Kontraktion am frühesten und stärksten ein. Für die Schwellenkurve wird für den m. stapedius beim Menschen ein weitgehender ähnlicher Verlauf wie für die normale absolute Hörschwellenkurve aufgezeigt, nur mit entsprechend größeren Intensitätswerten.

MÖLLER (77) bestätigt mittels Impedanzmessung bei der Bestimmung des Schwellenwertes für kontraktionsauslösende Reize für die BOM-Aktivität den parallelen Kurvenverlauf zwischen Hörschwelle und Empfindlichkeitsschwelle. So auch LINDSAY, KOBRAK und PERLMAN (46) und POTTER (64), wobei nach (46) die Schwellenkurve um 65 dB und nach (64) um 30-40 dB unter der Kurve der Hörempfindung liegen soll. SATO und ONO (78) konnten ebenfalls um 2 000 Hz die stärkste Stapediuskontraktion beobachten, wobei bei 2 Minuten langem Reizton die volle Kontraktionsstärke für 2 Sekunden anhält, um dann geradlinig abzusinken. Bei Sinustönen tritt der Reflexschwund umso früher ein, je höher die Reizfrequenz liegt. TIETZE (88, 87).

Bei MEYER et al. in (48) wird noch erwähnt, daß bei Geräuschen und Sprache die Reflexauslösung bereits bei geringerer Intensität erfolgt. Bei einer Sprachintensität von 40 dB wurden schon deutliche Muskelzuckungen beobachtet.

Die sog. Reflextaubheit bei reinen Sinustönen, wie sie u. a. von LÜSCHER, SATO und ONO beschrieben wurde, konnte bei Geräuschen über Minuten-Dauer nach MEYER in (48) nicht beobachtet werden. Bei anhaltendem Reiz mittels Breitbandgeräusch tritt nach DALLOS (86) nach Sekunden auch hier eine Abnahme

der Muskelkontraktionsstärke auf, die durch rückläufige Ohrimpedanzänderung darzustellen ist. Die eintretende Reflexrückbildung ist dabei umgekehrt proportional der Reizstärke. So beobachtete DALLOS bei Dauerreiz mit sehr großen Schallintensitäten, daß diese eine konstante Reflexaktivität bewirkten. Wurde hingegen der Reiz abgeschwächt, so trat auch hier eine rückläufige Reflexaktivität auf.

Mittels Drucksonde im Gehörgang untersuchten WEISS et al. (79) das Verhalten des AR auf Schallreiz. Hier wird eine deutliche Frequenzabhängigkeit bei der Reflexauslösung verneint. Bei 5% der Vpn. bei (79) war bis zu Schallpegelwerten von 115 dB überhaupt kein Reflex registrierbar, während sonst ein Durchschnittsschallpegel von $92 \text{ dB} \pm 4$ über der Hörschwelle reflexauslösend war. Mit der Impedanzmethode konnte JEPSEN (113) zwischen 250 Hz und 4096 Hz eine Reflexschwelle von 80 dB ermitteln. Ebenso MÖLLER (115).

Den Einfluß der Reizdauer auf den Schwellenwert untersuchten auch DJUPESLAND und ZWISLOCKI (80) mittels Impedanzmessung und konnten aufzeigen, daß, um die gleiche Änderung in der akustischen Impedanz zu bewirken, die Intensität eines Tones um ca. 25 dB reduziert werden mußte, wurde die Reiztondauer von 10 auf 100 ms. verlängert.

Eingehend wurde auch in zahlreichen Tierversuchen das Problem der Intensitätsabhängigkeit bei der Reflexauslösung untersucht. Durch mikroskopische Beobachtungen der Muskelkontraktionen bei decortierten Kaninchen stellten LORENTE de NO et al. (81) für den m. st. eine Reflexschwelle von 50 dB, für den m. t. t. eine solche von 80 dB über der menschlichen Hörschwelle fest. Ebenfalls im Tierversuch konnte LORENTE de NO (82) aufzeigen, daß der m. st. vorwiegend auf hohe Töne, der m. t. t. eher auf tiefe Töne anspricht. Dabei entstand der Eindruck, daß die Muskeln der Sprachmodulation folgen würden.

Weitere Zahlenangaben über die Kontraktionsreizschwelle der BOM stammen von HALLPIKE (45), der bei decerebrierten Katzen bei einer Tonintensität von 70 dB über der menschlichen Hörschwelle Muskelkontraktionen beobachtete. WEVER und VERNON (47) kommen über die Ableitung der "cochlear microphonics" bei Katzen auf Reflexwerte von umgerechnet 80 bis 100 dB. WERSÄLL (50) beobachtete durch myographische Darstellung ein Anwachsen der Muskelspannung des m. st. bei Intensitätswerten von 81 - 107 dB, beim m. t. t. bei Werten von 98 - 115 dB.

Interessant ist in diesem Zusammenhang die Erkenntnis, daß beide Muskeln unter einer ständigen Rest- bzw. Dauerspannung stehen.

Von BRZENSKI (38) und ebenso von WERSÄLL (50) wird auch für die BOM beim Menschen eine solche Rest- oder Ruhespannung angenommen.

In einer vergleichenden Untersuchung über den Mittelohrmuskel-Reflex bei der Katze wird durch SIMMONS (83) zu den verschiedenen Reflexschwellenwerten kritisch Stellung genommen. Die Empfindlichkeit des AR beim Menschen zeigt gegenüber den Untersuchungen verschiedener Autoren in Versuchen an Tieren einen niedrigeren Wert an, was auf die verschiedenen Meßmethoden zurückgeführt werden soll.

Bei SIMMONS's eigenen Untersuchungen an Katzen über den AR durch zwei verschiedene Methoden am gleichen Versuchstier stellte sich aber heraus, daß nur im Bereich zwischen ca. 1200 und 2500 Hz die Ergebnisse als Maß für den AR vergleichbar sind, wenngleich auch bei der Mikrophonpotentialableitung gegenüber der transtympanyalen Impedanzmessung erstere im oben genannten Frequenzbereich um 10 - 15 dB empfindlicher ist. Außerhalb dieses Frequenzbereiches kommt es jedoch zu erheblichen und unerklärlichen Abweichungen beider Meßergebnisse. Daraus wird gefolgert, daß der Unterschied in der Empfindlichkeit des AR zwischen Katze und Mensch also nicht nur auf der Meßmethode beruhen kann.

Je nach Untersucher und Methode wird auch beim Menschen die Reflexschwelle zwischen 30 und 90 dB über der Hörschwelle angegeben. Grundsätzlich gilt, daß die Reizschwelle der BOM für den m. st. niedriger ist als für den m. t. t., für Geräusche niedriger als für reine Töne. LEHNHARDT (2). LIDEN (72) et al. MÖLLER (76).

Dazu DJUPESLAND et al. (84) in einer neueren Untersuchung:

Der Schwellenwert für akustisch ausgelöste Impedanzänderungen wird für weißes Rauschen und niedrig-frequente Schallreize niedriger gefunden, als für hohe Frequenzen, während die Größe der akustisch ausgelösten Impedanzänderung für niedrige Frequenzen größer ist als für hohe Frequenzen bei gleicher Intensität über der Reflexschwelle. Beim Vergleich der Größenzunahme von akustisch ausgelöster Impedanzänderung mit dem Intensitätszuwachs der Reiztöne wird aufgezeigt, daß bei niedrigen Tönen die Impedanz stärker zunimmt als bei hohen Tönen. So ist beispielsweise beim 250 Hz-Ton mit 28 dB über der Reflexschwelle schon eine Maximaländerung der Impedanz erreicht, während beim 4000 Hz-Ton mit 28 dB über der Reflexschwelle ca. 60% der Maximaländerung des 250 Hz-Tones erreicht werden.

Auch bei der Dauer der akustisch hervorgerufenen Impedanzänderung zeigt sich, daß niederfrequente Töne gegenüber höherfrequenten Tönen gleicher Intensität wirksamer sind; gleichzeitig besteht die Tendenz, daß mit Zunahme der Reizton-Intensität auch die Impedanzänderung entsprechend länger bestehen bleibt.

DALLOS (86) und MÖLLER (76) berichten über ein dynamisches Verhalten des AR beim Ein- und Ausschalten der Reizsignale. Mittels Messung der Ohrimpe-

danzänderung werden in Abhängigkeit zur Reizschallintensität Werte für die An- und Abklingzeit des AR gefunden, die jedoch eine besonders große individuelle Streubreite aufweisen. Es läßt sich aber allgemein aufzeigen, daß mit steigendem Reizschallpegel auch die Anklingzeiten kürzer werden.

Für Breitbandrauschen gibt DALLOS für den vollständigen Reflexaufbau eine Anklingzeit mit 100 - 500 msec. an. Für den vollständigen Reflexabbau hingegen wird eine Abbaupzeit von ca. 1500 msec. angegeben.

MÖLLER arbeitete mit Einzelimpulsen und stellte bei einer Frequenz von 1450 Hz die gleichen Zeiten fest. Bei einer 500 Hz Reizfrequenz wurde eine periodische Einschwingung für die Impedanzänderung beobachtet.

TIETZE (87) stellte in eigenen Versuchen Ähnliches fest.

Über eingehende Untersuchungen zur Abklingzeit berichtet TIETZE (87), daß diese ab Frequenzen von 1500 Hz mit zunehmender Frequenzhöhe immer geringer wird. Beträgt die Abklingzeit bei 1500 Hz noch ca. 10 sec, so sinkt der Wert bei Frequenzen von 4000 Hz auf 0,7 bis 2 sec. ab. Lediglich wenn der AR mit sehr hohen Intensitäten ausgelöst wird, die schon im nicht-linearen Sättigungsbereich liegen, ergibt sich auch hier eine verlängerte Abklingzeit.

In einer weiteren Arbeit weist TIETZE (88) nach, daß der AR nach Auslösung durch Tonimpulse wesentlich langsamer abklingt als bei Dauertonauslösung. Gleichzeitig ist der AR bei Tonimpulsen bestimmter Länge und Folgefrequenzen stärker ausgeprägt als bei vergleichbar starken Dauertönen. Schließlich ist der erforderliche Schwellenschalldruck zur AR-Auslösung bei Tonimpulsen von ganz bestimmter Impulslänge und Folge niedriger als bei Dauertonreizung. Andererseits kann der AR bei sehr kurzen Einzelimpulsen ohne Vorerregung nicht wirksam werden, gleichwohl der AR durch den Impuls angeregt wird. REICHARDT und MÜLLER (90).

Durch FLETCHER et al. (89) wird der Schutzeffekt des AR bei Impulslärm unter verschiedenen Bedingungen dargestellt.

MÜLLER, der auch zusammenfassend das Verhalten des AR zur Lautstärke zielt, zeigt die Problematik bei Impuls- und Dauerlärm klar auf. Bedingt durch die An- und Abklingzeiten wird der AR nur bei einer ganz bestimmten Impulslänge und Impulsfolge wirksam. MÜLLER (91).

Zusammenfassung:

In den vorangegangenen fünf Abschnitten wurde das Grundverhalten des AR dargestellt und auf die verschiedenen Forschungsergebnisse hingewiesen. Danach wird überwiegend dem AR bei der Schallübertragung eine gewisse passive Schutzwirkung zuerkannt, die ihre Grenzen jedoch in der Lärmintensität, der Lärmform und der Lärmfrequenz hat.

Im Gegensatz zur rein passiven Funktion als Schutzwirkung wird aber auch die Bedeutung des AR in einer aktiven Funktion bei der Schallübermittlung gesehen, indem der akustische Reflex als Teil des Schalleitungsapparates zur Erhöhung der akustischen Informationskapazität beiträgt.

V.

EIGENE UNTERSUCHUNGEN ZUM VERHALTEN
DES AKUSTISCHEN REFLEXES BEI LÄRMARBEITERN

Ziel der durchgeführten Untersuchungen war es, die Bedeutung des akustischen Mittelohrmuskelreflexes (AR) bei hohen Schallpegeln und langjähriger Expositionsdauer (Industrielärm) zu testen.

Die bisher in der Literatur veröffentlichten Ergebnisse über das Verhalten des AR sind fast durchwegs aus Laboruntersuchungen mit definierten Bedingungen und mit relativ kurzen Belastungszeiten gewonnen worden. Ein Rückschluß auf die Wirkung des AR als Schutzmechanismus bei Lärmarbeitern ist aber bei Laboruntersuchungen nicht möglich. Die eigenen Untersuchungen waren retrospektiver Art. Am Gehörorgan der zu untersuchenden Personen mußten keinerlei operative Eingriffe vorgenommen werden. Die Untersuchungsmethoden waren daher am Menschen uneingeschränkt anwendbar.

Demgegenüber beruht die Arbeit von POPOFF (103) über die Auswirkungen des Fabrik lärms auf das Gehörorgan weißer Mäuse auf Untersuchungen prospektiver Art.

Durch entsprechende Voruntersuchungen wurde darauf geachtet, daß nur ohrgesunde Arbeiter zu den Versuchen über den AR herangezogen wurden. Als Ohrge-sunder galt, wer otoskopisch o. B. war, anamnestisch keine Ohrenerkrankungen zu verzeichnen hatte und die Umgangssprache deutlich verstand. Von keinem der Arbeiter war jemals während der Arbeitszeit ein Gehörschutz getragen worden. Aufgrund vorausgegangener Lärmpegel- und Frequenzmessungen am Arbeitsplatz wurden aus verschiedenen Arbeitslärm-bereichen mit unterschiedlichen Schallpegeln und Frequenzspektren folgende Gruppen untersucht. Zum besseren Vergleich wurden aus den einzelnen Arbeitsbereichen fünf Gruppen mit der etwa gleichen Anzahl von Beschäftigten mit den vorgenannten Kriterien ausgewählt:

<u>Gruppen</u>	<u>Anzahl der Personen</u>	<u>Arbeits- bereich</u>	<u>Vorwiegende Lärmbelastung</u>
1	10	Schmiede	Impulsärm, Einzelimpulse, niedrige Frequenzen
2	8	Abt. Oberfräsen	Dauerlärm mit etwa konstantem Pegel, mittlere Frequenzen
3	8	Zusam- menbau	Nieten, schnelle Impulsfolge, hohe Frequenzen
4	10	Lehrwerk- stätte	stark intermittierender Lärm: Schweißen, Nieten, Hämmern, relative Ruhe
5	10	Büro	keine besondere Belastung außer Büromaschinen,

Tabelle 1: Anzahl und Aufgliederung der
Versuchspersonen

Durch die Untersuchungen bei diesen Gruppen sollten folgende Fragen über den AR geklärt werden:

1. Besteht ein Zusammenhang zwischen der lärminduzierten Hörschädigung und der Stärke des AR?
2. Tritt bei längerer Lärmbelastung (während der Arbeitsschicht) ein Rückgang der Reflexaktivität auf (= Ermüdung)?
3. Besteht eine Abhängigkeit der AR-Aktivität vom Alter und der Anzahl der Arbeitsjahre im Lärmklima?

Aufbau des Meßplatzes:

Die Meßapparatur bestand aus einem Impedanzmeßgerät MADSEN ZO 70 der Firma Phillips (105), einem Tonbandgerät (UHER 4000 Report L), einem speziell für diesen Zweck gebauten NF-Meßverstärker (in dB kalibriert) und einem Meßtelefon Typ DT 48 S der Firma BEYER, zur Darbietung des Reizschalles.

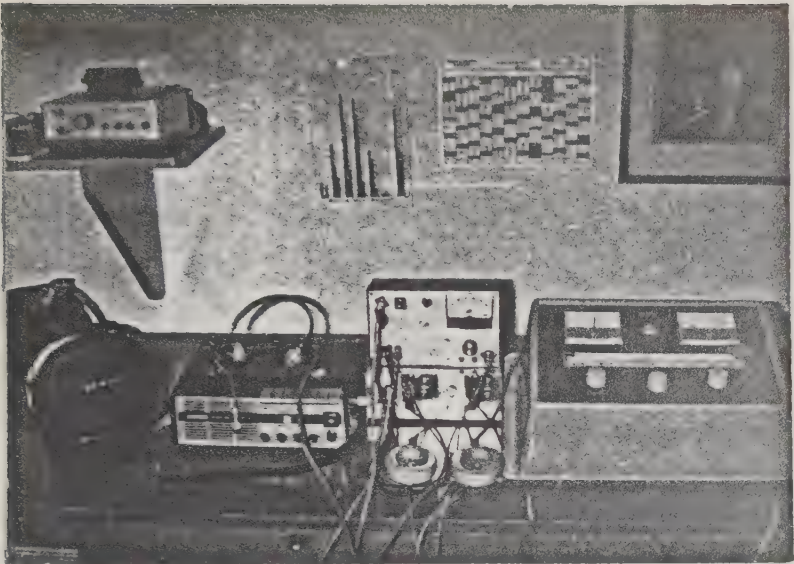


Bild 1: Aufbau der Geräte am Meßplatz

Die Meßapparatur wurde jeweils in einem ruhigeren Nebenraum in unmittelbarer Nähe des Arbeitsplatzes oder, soweit vorhanden, in einem Audiometrieraum aufgebaut. Die Audiogramme, die zur Auswertung der Impedanzuntersuchungen benötigt wurden, wurden jeweils morgens, vor Arbeitsbeginn, mit einem Siemens-Audiometer in einem Raum mit Geräuschpegel < 40 dB angefertigt.

Meßprinzip und Versuchsdurchführung:

Das Impedanzmeßgerät MADSEN ZO 70 mißt die akustische Impedanz ($|Z|$) am Trommelfell. Dazu wird ein 220 Hz (= Meßton) mit einem Schalldruckpegel von 65 dB über der Hörschwelle in den äußeren Gehörgang eingespeist (siehe Bild 2).

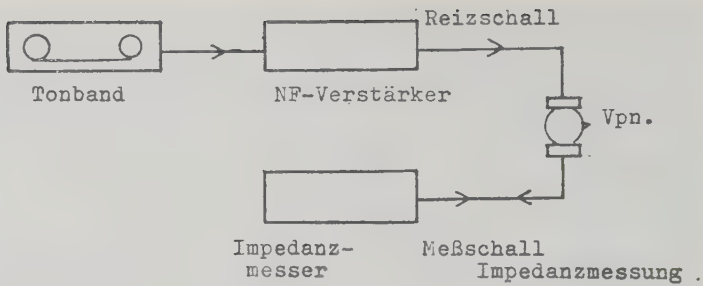


Bild 2: Schaltbild des Meßplatzes

Die Meßtonintensität ist so bemessen, daß sie gerade unterhalb des Schwellenwertes der Reflexauslösung liegt. Der sich im Gehörgang einstellende Schalldruck ist davon abhängig, mit welcher akustischen Impedanz das Gehörgangsvolumen am Trommelfell abgeschlossen ist. Der Schalldruck wird durch ein Sondenmikrofon gemessen.

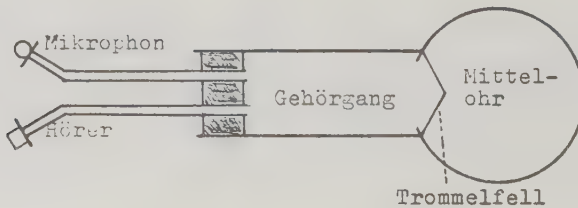


Bild 3: Schematische Darstellung des Meßprinzips

Die akustische Impedanz ist definiert als

$$Z = \frac{p}{q}; \quad \begin{array}{ll} p = \text{Schalldruck} & v = \text{Schallschnelle} \\ q = \text{Schallfluß (=vS)}; & S = \text{Fläche.} \end{array}$$

Einheit der akustischen Impedanz ist das akustische Ohm: Die Impedanz beträgt 1 akustisches Ohm, wenn ein Schalldruck von 1 dyn/cm^2 einen Schallfluß (=Volumenschnelle) von $1 \text{ cm}^3/\text{s}$ hervorruft.

$$1 \text{ akust. Ohm} = \frac{1 \text{ dyn. s}}{\text{cm}^5} = \frac{10^5 \text{ kg}}{\text{m}^4 \text{ s}} = \frac{1 \text{ g}}{\text{cm}^4 \text{ s}} \quad \text{TJETZE (106)}$$

Der akustische Widerstand des Trommelfells ist u. a. abhängig vom (frequenzabhängigen) Übertragungsmaß der Gehörknöchelchenkette. Durch die Kontraktion der beiden Mittelohrmuskeln - m. stapedius und m. tensor tympani - wird die Schalleitungskette versteift und damit auch die akustische Impedanz am Trommelfell erhöht. Diese Versteifung wirkt sich vorwiegend auf das Übertragungsmaß bei tiefen Frequenzen aus, wie in der vorausgegangenen Literaturübersicht aufgezeigt wurde. Die Impedanzänderung ist also ein direktes Maß für die Stärke des AR. LEHNHARDT (107).

In zahlreichen Untersuchungen wurde schon nachgewiesen, daß der AR durch Reizschalleinwirkung ausgelöst werden kann, wobei die Auslösschwelle einen bestimmten Betrag - etwa 70-90 dB - über der Hörschwelle liegen soll. Bei einohriger Darbietung des Reizschalles wird, wie gleichfalls oben in der Literaturübersicht aufgezeigt wurde, der AR stets beidohrig ausgelöst. SIMMONS (73), DJUPESLAND (59), CANCURA (116), MÖLLER [115], JEPSEN [113].

Diese Erkenntnisse über den AR wurde auch bei den vorliegenden Untersuchungen angewandt, indem ein Ohr zur Darbietung des Reizschalles, das andere zur Impedanzmessung diente. Weiter wurde bei den Untersuchungen zur Auslösung des AR ein "Weißes Rauschen" benutzt, weil hier der AR stärker aufgebaut wird als durch Einzeltöne. In der Literatur wird beschrieben, daß der akustische Widerstand des Trommelfells bei Reizschallen über der Auslöseschwelle des Reflexes bis zu einem Lautstärkepegel von 120 phon stetig zunimmt. (MÜLLER (91)).

Die durch den AR bewirkte und subjektiv auch empfundene Lautstärkenminderung durch den Schalleitungsverlust beträgt dabei unter Laborbedingungen bei vollständigem Reflex maximal 10 phon. KLINKE (108), CANCURA (56), MÜLLER (91). Um also jene 10 phon Lautstärkenminderung zu erreichen, sind Reizschallpegel erforderlich, die selbst bereits gehörschädigend wirken. Wobei als sicher gehörschädigend Schallpegel von > 90 dB, über längere Zeit, angesehen werden. EY, W. (112).

In den vorliegenden Untersuchungen wurde die Messung der Reflexaktivität jeweils vor Arbeitsbeginn am Morgen und nach 2, 5 bzw. 3, 5 Stunden Lärmbelastung am Arbeitsplatz durchgeführt. Die Messungen mußten zeitlich in den Arbeitsablauf eingebaut werden, damit keine Betriebsstörungen entstanden,

Als Reizschall wurde Breitbandrauschen (20 Hz - 16 kHz) mit Schalldruckpegeln von 95 und 110 dB kurzfristig verwendet. Als Meßwert diente jeweils die Diffe-

renz der akustischen Impedanz vor und nach Einwirkung des Reizschalles. Er wird in der Einheit $\text{dyn. s} \cdot \text{cm}^{-5}$ = akust. Ohm angegeben.

Lärmmessungen

Die Schallpegelmessungen an den Arbeitsplätzen wurden mit einem Präzisions-schallpegelmesser (Typ 2204 B. u. K) und einem Oktavfilter (Typ 1613 B. u. K) vorgenommen.

Schmiede:

An den Schmiedehämmern der Gesenkschmiede lagen Schallpegelspitzen bis zu 128 dB (CI) vor, in der Freiformschmiede wurden Impulsschallpegel von durchschnittlich 116 dB (CI) gemessen.

Der Grundpegel in der Schmiede beträgt 90 dB (A). Durchschnittlich wurden 4-6 Impulse pro Minute an den Schmiedehämmern gezählt.

Die Frequenzanalyse von Impulsgeräuschen mit starken tieffrequenten Anteilen bereitet gewisse Schwierigkeiten, da die Filtereinschwingzeiten bei niedrigen Frequenzen in der Größenordnung der Impulsdauer liegen. Die Anteile tiefer Frequenzen werden dadurch unterbewertet. Liegt das Intensitätsmaximum bei tiefen Frequenzen, wie es hier der Fall ist, so kann man die gemessenen Spektren mit dem linear bewerteten Gesamtipulsschallpegel (L_{Jlin}) vergleichen und rechnerisch korrigieren.

Die Kurven 1 und 2 zeigen die auf diese Weise gewonnenen Oktavbandspektren.

Flugzeugzusammenbau:

Im Flugzeugzusammenbau ist das Nietgeräusch (104-113 dB (A)) vorherrschend. Für eine Niete werden ca. 2-3 sec. benötigt, darauf folgt jeweils eine Pause von einigen Sekunden, in der lediglich der Hallengrundpegel (um 90 dB (A)) vorhanden ist.

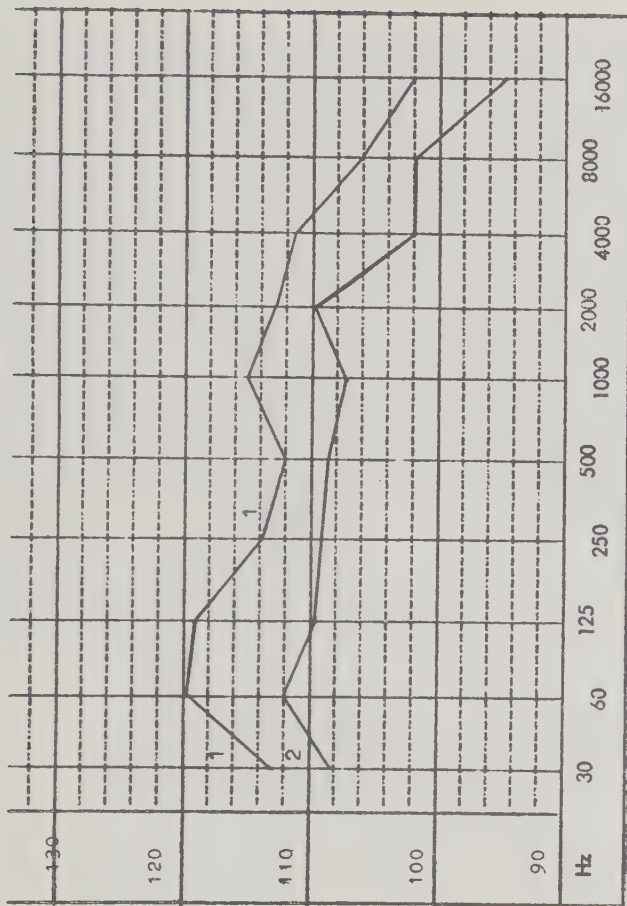
Das Nietgeräusch besteht aus Einzelimpulsen mit hoher Impulsfolgefrequenz (Frequenzspektrum: Kurve 3).

Oberfräsen:

Bei den Oberfräsen liegt Dauerlärm vor (etwa 80% der Gesamtarbeitszeit). Das Oktavbandspektrum zeigt Kurve 4 (Schallpegel: 104 dB (A)).

Oktavbandspektrum

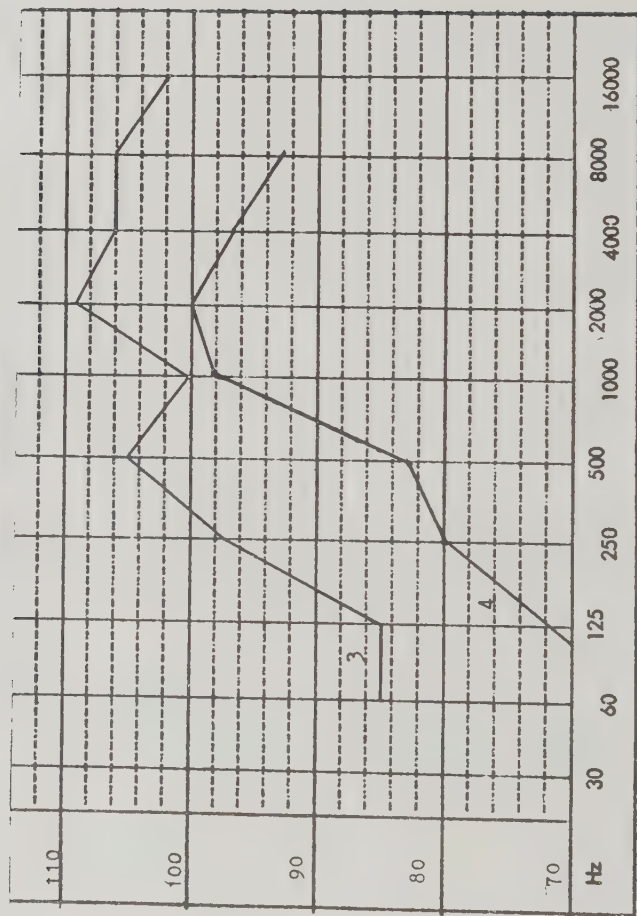
dB



1: Oktavbandspektrum Gesenkschmiede (118 - 128 dB (CI))

2: Oktavbandspektrum Freiformschmiede (116 dB (CI))

Oktaabandspektrum



3: Oktavbandspektrum Flugzeugzusammenbau (Nieten) 104-113 dB (A)

4: Oktavbandspektrum Oberfräsen 104 dB (A)

Lehrwerkstätte:

Im Gegensatz zu den Dauereinwirkungen an den Arbeitsplätzen kann in der Lehrwerkstätte mit intervallweisen Lärmexpositionen gerechnet werden. Aufgrund des Ausbildungsplanes liegt der Lärmpegel an etwa 8 Wochen pro Ausbildungsjahr bei 90 - 106 dB (A).

Zur besseren Vergleichbarkeit von Lärmeinwirkungen untereinander ist es notwendig, den sog. Beurteilungspegel nach der VDI Richtlinie 2058 Blatt 2, zu bilden (120).

Der Beurteilungspegel ist derjenige Dauerschallpegel mit konstanter Pegelhöhe, der aus dem schwankenden Schallpegel am Arbeitsplatz durch zeitliche Energiemittelung nach DIN 45641 (Halbierungsparameter $q = 3$) gewonnen wurde. Danach ergaben sich für die einzelnen Arbeitsplätze folgende Beurteilungspegel:

Zusammenbau:	110 dB (A)	
Oberfräsen:	102 dB (A)	
Lehrwerkstätte:	100 dB (A)	(während 8 Wochen/Jahr)

Bei Einzelimpulsen, wie sie in der Schmiede vorliegen, ist die Angabe eines Beurteilungspegels nicht ohne weiteres möglich. Bei häufigem Auftreten von Impulsen kann der mittlere Impulsschallpegel (hier etwa 123 dB (CI)) als ein Beurteilungsmaß dienen.

Statistische Auswertung der Meßdaten:

Es werden folgende Bezeichnungen verwendet:

$\Delta Z_{110 v}$	= Impedanzänderung bei Reizschall 110 dB, gemessen vor Arbeitslärmbelastung,
$\Delta Z_{110 n}$	= Impedanzänderung bei Reizschall 110 dB, gemessen nach Arbeitslärmbelastung,
$\overline{\Delta Z}$	= Mittelwert der Meßgruppen
ΔZ_{95v}	= Impedanzänderung bei Reizschall 95 dB, gemessen vor Arbeitslärmbelastung,
$\Delta Z_{95 n}$	= Impedanzänderung bei Reizschall 95 dB, gemessen nach Arbeitslärmbelastung,
HV 2kHz	= Hörverlust bei 2 kHz, alterskorrigiert nach VDI 2058,

Aufgrund der großen Streuungen, die hier ähnlich wie bei vielen biologischen Untersuchungen auftreten, wird der Schluß vom Stichprobenmittelwert (Mittelwert eines Kollektivs) auf das Individuum fragwürdig.

Es muß daher klargestellt werden, daß die statistische Analyse der bei dieser Untersuchung gewonnenen Daten zwar Tendenzen einer größeren Gruppe erkennen läßt, jedoch können konkrete Aussagen für den Einzelfall daraus nur bedingt gewonnen werden.

Die drei Gruppen der lärmbelasteten Arbeitnehmer von Schmiede, Oberfräsen und Zusammenbau, insgesamt 28 Vpn - siehe Tabellen 2, 3, 4 -, zeigen nach Lärmeinwirkung von 2, 5 bzw. 3, 5 Stunden eine mittlere Zunahme der Reflexstärke (mittlere Impedanzerhöhung $\Delta \Delta Z = \Delta Z_{110n} - \Delta Z_{110v} = 36 - 29 = 7$ akust. Ohm) von 7 akust. Ohm.

Vpn.	Alter	Jahre i. Lärbetr.	ΔZ 95 dB v. n.	$\Delta \Delta Z$ n.-v.	ΔZ 100 dB v. n.	$\Delta \Delta Z$ M. - v.	Werte alterskorrigiert n. VDI 2058 Beginn d. o. Senke bis Spitze	Tiefe dB	HöK. bei 2 kHz i. dB.
1	26	< 2	25	-5			3000-11600	40	12
2	30	3	0	+ 0	10	-10	500- 3000	45	29 ⁽¹⁰⁺⁾
3	32	3	40	+ 5			2048- 4000	41	11
4	30	4	30	+40			2000- 4000	39	16
5	34	7	0	+ 0	0	+ 0	125- 5800	73	59
6	41	9	30	- + 0			1000-5000	59	35
7	37	9	15	+5			1550-5800	51	17
8	32	18	40	+20			2000-4000	42	18 ⁽¹⁺⁾
9	36	20	20	-5			1000-5800	70	37
10	36	23	30	-20			250-5000	41	15
11	40	25	15	-15	20	-20	250-5800	80	54
Mittelwert			22	24,5	+2				+1 normiert = Wert:durch Zahl d. Lärmjahre.

Tabelle 2: Mesort: Schmiede - Krauss-Maffei

Zeitspanne zwischen den Messungen 3,5 Std.

v: Messung vor Arbeitsbeginn

n: Messung nach Arbeitslärmbelastung.

Vpn.	Alter	Jahre i. Lärbetr.	ΔZ v. n.	95 dB n.	$\Delta \Delta Z$ n - v	ΔZ v n	110 dB n	$\Delta \Delta Z$ n - v	Werte alterskorrigiert n. VDI 2058		
									Beginn d.c.5 bis Spitze	Tiefe i. dB	HöK.b. 2 kHz i.dB
1	37	1	15	10	-5	20	(10)	-10	2000-4000	35	9 ⁺
2	58	15	0	5	+5	50	(95)	+45	2000-3000	48	8 ⁺
3	30	6	20	30	+10	50	45	-5	3000-6000	45	21 ⁺
4	53	13	25	20	-5	35	30	-5	2000-4000	50	7
5	57	14	5	0	-5	25	40	+15	1000-3000	60	50
6	32	7	5	15	+10	15	35	+20	2000-3000	45	10
7	58	3	0	0	+0	15	0	-15	4000-6000	45	38
8	52	4	10	10	+0	30	35	+5	3000-6000	15	7
Mittelwert			10/ 11		+ 1	30 / 36		+ 6			+)normiert

Tabelle 3:

Meßort: Oberfräsen - Dornier AG

Zeitspanne zwischen den Messungen 2,5 Std.

v: Messung vor Arbeitsbeginn,

n: Messung nach Arbeitslärmbelastung

Ypn	Alter	Jahre i. Lärmbeintr.	ΔZ 95 dB		ΔΔZ n - v	ΔZ 110 dB		ΔΔZ n - v	Werte alterskorrigiert n. VDI 2058		
			v	n		v	n		Beginn d.c. Senke bis Spitze	Tiefe i. dB	Hörsch. 2 kHz i. dB
1	31	1	10	15	+ 05	55/45		-10	2000-4000	35	21
2	19	2	20	75	+55	30/90		+60	2000-4000	40	18
3	32	3	55	60	+ 05	110/100		-10	3000-6000	28	21
4	50	9	20	60	+ 40	50/105		+55	2000-4000	25	3 ^{0,3+}
5	43	10	20	25	+ 5	35/50		+15	2000-3000	33	20
6	33	9	5	5	+0	5/10		+ 5	2000-6000	60	21
7	41	15	20	0	-20	20/0		-20	2000-6000	28	6
8	41	15	0	0	-	0/10		+10	3000-6000	28	20
9	48	16	0	0	-	0/20		+20			
Mittelwert			17	27	+10	34/48		+14	+) normiert		

Tabelle 4: Meßort: Abt. Zusammenbau - Dornier AG.
 Zeitspanne zwischen den Messungen 2,5 Std.
 v: Messung vor Arbeitsbeginn
 n: Messung nach Arbeitslärmbelastung

Die 10 Beschäftigten im Büro zeigten nach Lärmeinwirkung die deutlichste Tendenz der Reflexzunahme ($\Delta Z_{95v} = 35, 5$; $\Delta Z_{95n} = 41, 5$). Diese Gruppe ist dem allgemeinen Büromaschinenlärm von 70-80 dB (A) ausgesetzt (siehe Tabelle 5).

Dagegen weist die Gruppe der 10 Lehrlinge nach Lärmeinwirkung eine mittlere Abnahme der Reflexstärke nach 2, 5 Std. um $\Delta \Delta Z = 8, 5$ auf.

In der Lehrwerkstätte herrscht über 3 Wochen im Jahr ein Durchschnitts-Gesamt-Beurteilungspegel von 100 dB (A). In der übrigen Zeit liegt der Beurteilungspegel bei geringeren Werten, d. h., je nach anfallender Arbeit, wie Nieten, Richten, Feilen oder nur Sprechen kommen hier zeitlich sehr unterschiedliche Lärmeinwirkungen zur Geltung (siehe Tab. 6).

Eine Zusammenstellung der Reflexaktivitäten bei sämtlichen Lärmarbeitern zeigt, daß bei 50% der Vpn. eine Zunahme, bei 40% eine Abnahme und bei 10% keine Änderung der Reflexstärke nach Lärmeinwirkung festzustellen ist (siehe Tab. 7). Die Zunahme erweist sich dabei im Mittel höher als die Abnahme.

ypn.	Alter	Tätigk.f. Jahre Lärmbetr.-Büro	ΔZ y n	$\Delta \Delta Z$ n - y	Werte alterskorrigiert n. VDI 2058		
					Beginn d. c ₅ bis Spitze	Tiefe i. dB	HöK.b. 2 kHz i dB
1	32	6	40/65	+25	5800-11600	12	10
2	29	10	10/15	+ 5	2000- 3000	36	11
3	32	10	55/70	+15	3000- 4100	22	1
4	36	10	50/60	+10	2050- 8000	55	12
5	46	12	15/15	+0	3000-5800	30	5
6	39	15	20/20	+0	2000-4000	45	8
7	46	nur Büro	15/15	+0	2000-5000	45	20
8	45	nur Büro	60/65	+5	3000-5800	9	1
9	47	nur Büro	20/10	-10	2000-4000	45	3
10	37	nur Büro	70/80	+10	3000-11600	40	0
Mittelwert:			35,5/41/5 +6				

Tabelle 5: Meßort: Büro - Kraus-Maffei

Zeitspanne zwischen den Messungen 3,5 Std.

y: Messung vor Arbeitsbeginn

n: Messung nach Arbeitslärmbelastung.

ypn.	Alter	Jahre i. Lärmbeir.	ΔZ 95 dB v. n.	$\Delta A Z$ H.-v.	ΔZ 110 dB v n	$\Delta A Z$	Beginn d. c ₅ Senke bis Spitze	Tiefe i. dB	HöK bei 2 kHz i. dB
1	20	4	20/0	-20	30/25	-5	2000-3000	20	2
2	20	4	35/30	-5	70/50	-20	2000-6000	15	1
3	20	3	30/10	-20	55/25	-30	3000-4000	2	1
4	17	3	25/20	-5	35/35	+0	2000-4000	25	4
5	18	3	55/20	-25	80/85	+5	3000-6000	30	9
6	17	3	35/0	-35	50/15	-35	4000-6000	11	10
7	17	3	60/70	+10	90/115	+25	4000-6000	20	10
8	17	3	25/10	-15	50/10	-40	3000-6000	35 (2 ⁺)	5
9	17	2	10/10	+0	15/20	+5	3000-6000	11	3
10	17	2	10/15	+5	45/55	+10	4000-6000	21	5
Mittelwert:			30/18,5	-11	52/44	-8,5			+) normiert

Tabelle 6: Meßort: AÜt. Lehrwerkstätte -Dornier AG

Zeitspanne zwischen den Messungen 2,5 Std.

v: Messung vor Arbeitsbeginn

n: Messung nach Arbeitslärmbelastung.

Personenzahl in:	Schmiede	Oberfräse	Zusammenbau	Büro	Lehrwerkstätte
Zunahme	4	4	6	6	4
Abnahme	4	4	4	1	5
gleichbleibend	3	-	-	3	1

Tabelle 7: Das Verhalten der Reflexaktivitäten der einzelnen Gruppen nach Lärmeinwirkung.

Insgesamt kann der Unterschied im Reflexverhalten zwischen den seit längerer Zeit lärmexponierten Arbeitnehmern und den Lehrlingen noch als signifikant angesehen werden.

- Bei diesen nun folgenden statistischen Auswertungen wurde die Gruppe der Vpn. aus dem Büro nicht berücksichtigt, da es sich hier um keine Lärmarbeit handelt. -

$$\begin{array}{llll}
 \text{Lärmarbeiter:} & \text{Zunahme} & \Delta Z_{110n} - \Delta Z_{110v} & = + 7 \\
 \text{Lehrlinge:} & \text{Abnahme} & \Delta Z_{110n} - \Delta Z_{110v} & = -8,5 \\
 & & (t\text{-Test; } t=2 = t_{\text{tab}}) &
 \end{array}$$

Unter Ruhebedingungen, also vor Arbeitsbeginn, zeigen die Vpn. der Lärmarbeiter im Mittel eine geringere Reflexstärke ($\Delta Z_{95v}=17$) als die Vpn. der Lehrwerkstätte ($\Delta Z_{95v}=30$). Der Unterschied ist signifikant. ($t=2,36 > 2,02 = t_{\text{tab}}$).

Dieses Ergebnis stimmt mit dem überein, was auch TERKILDSSEN (117) bei seinen Untersuchungen zum Reflexverhalten beim Lärmarbeiten feststellte.

Während also die Lehrlinge unter Ruhebedingungen eine höhere Reflexaktivität besitzen, ihr Reflex aber im Lärmklima (im Mittel) schwächer wird, zeigen die seit längerer Zeit "lärmgewohnten" Beschäftigten bei geringerem Ruhereflex eine mittlere Zunahme der Reflexaktivität während der Lärmeinwirkung.

Diese Erkenntnis könnte als eine Art "Gegenregulationsmechanismus" des Gehörs nach längerer Lärmeinwirkung und zunehmendem Alter gedeutet werden.

Wie Bild 4 aufzeigt, liegt das Maximum dieses Reflexaufbaues bei einem Lebensalter von etwa 30-32 Jahren. Mit höherem Lebensalter erfolgt wieder eine Abnahme.

Nach Bild 5 läßt sich aber auch ein gewisser Einfluß der Lärmjahre auf den Reflexaufbau erkennen. So zeigt die Gruppe der 1-4 Jahre Lärmexponierten im Mittel praktisch keinen Reflexaufbau im Lärmklima.

Die Gruppe der 6-10 Jahre Lärmexponierten hatte einen solchen von 10 akusti-

schen Ohm (Gruppenmittel), während die Gruppe der 13-25 Jahre Lärmexponierten eine Abnahme um 5 akustische Ohm aufweist.

Auch die Reflexstärke vor Arbeitsbeginn, also in Ruhebedingung, zeigt eine gewisse Altersabhängigkeit, wie sie in Bild 6 graphisch dargestellt wird. Mit zunehmendem Lebensalter der Vpn. sinkt die Reflexaktivität ab (Korrelationskoeffizient $r = 0,45$). Hingegen ist der Einfluß der Lärmjahre auf die Reflexstärke vor Arbeitsbeginn geringer als der des Lebensalters ($r = 0,14$) (Bild 7).

Um den wichtigen Zusammenhang zwischen der Stärke bzw. der Wirksamkeit des AR und der Gehörschädigung nach vielen Berufsjahren im Lärmklima klären zu können, wurden die Werte ΔZ_{110n} mit dem alterskorrigierten Hörverlust bei 2 kHz pro Lärmjahr korreliert. Der Hörverlust bei 2 kHz stellt ein Maß für die Breite der c^5 -Senke dar.

Eine Normierung des Hörverlustes ist an sich nur dann zulässig, wenn eine lineare Beziehung zwischen den Größen HV (Hörverlust) und Arbeitsjahren besteht. Im Vergleich jedoch zu den sonstigen Unsicherheitsfaktoren, z. B. verschiedene Lärmresistenz des einzelnen usw., kann der begangene Fehler vernachlässigt werden. Eine Alterskorrektur der Reflexstärke nach der o. a. Beziehung wurde wegen der großen Streuungen nicht durchgeführt.

Für die gesamte Gruppe der beruflich Lärmexponierten ergibt sich somit ein Korrelationskoeffizient von $-0,1$. Ein Zusammenhang des lärminduzierten Hörverlustes bei 2 kHz mit der Reflexstärke ist daher nicht nachweisbar. Ebenso ist eine Korrelation mit den Werten des größten Hörverlustes bei c^5 (Tiefe der c^5 -Senke für die gesamten Gruppen) nicht gegeben ($r = -0,01$).

Wählt man hingegen nur die 8 Vpn. an der Oberfräse aus, so läßt sich für diese Gruppe eine leichte Korrelation des normierten Hörverlustes bei 2 kHz und 4 kHz mit der Reflexstärke nachweisen ($r = -0,56$ und $-0,59$). Die zugehörigen Regressionsgeraden sind in den Abbildungen 8 und 9 dargestellt.

Auch ein Zusammenhang des normierten Hörverlustes bei 2 kHz mit der Reflexdynamik ($\Delta Z_{110n} - \Delta Z_{95n}$) ist bei den Oberfräsen etwa in der gleichen Höhe nachweisbar ($r = -0,43$). Unter Reflexdynamik versteht man die Auslösbarkeit des Reflexes bei zunehmenden Reizschallpegeln, ausgedrückt in $\Delta Z_{110} - \Delta Z_{95}$.

Eine weitere Korrelation ergibt sich bei den Vpn. an den Oberfräsen für die Größen HV 2kHz normiert ($\Delta Z_{110n} - \Delta Z_{110v}$). Hier zeigt sich, daß der Hörverlust bei 2 kHz pro Lärmjahr umso geringer ist, je stärker der AR während der Arbeitszeit durch Lärmeinwirkung aufgebaut wird.

$\Delta\Delta z_{95} \text{ dB } (\Delta z_{95} \text{ n} - \Delta z_{95} \text{ v})$

- Lehrwerkstätte
- Zusammenbau
- Oberfräse
- Schmiede

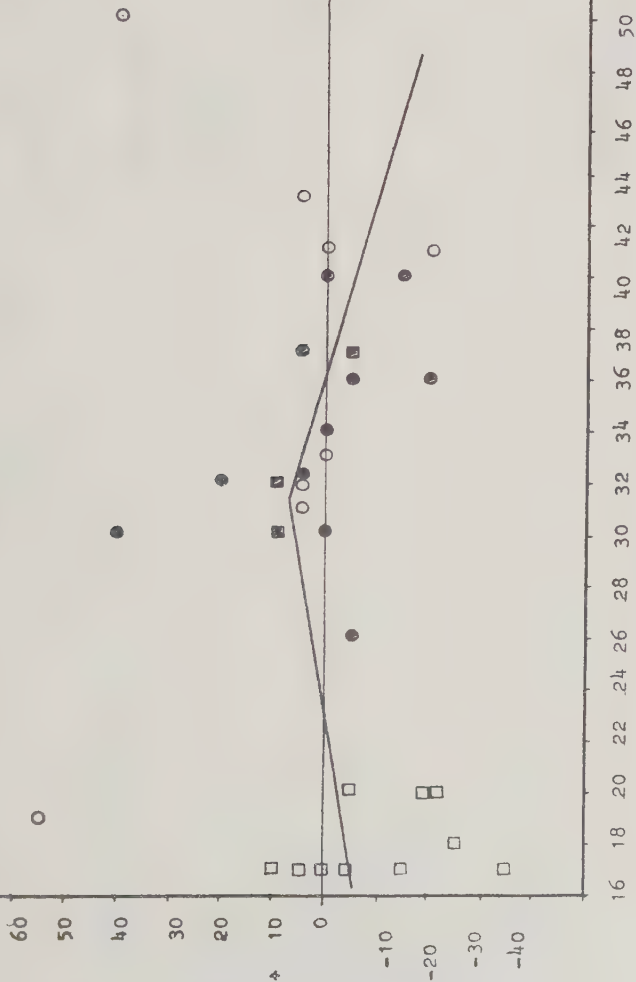


Bild 4: Änderung des ak. Reflexes während der Lärmeinwirkung in Abhängigkeit von den Lebensjahren.

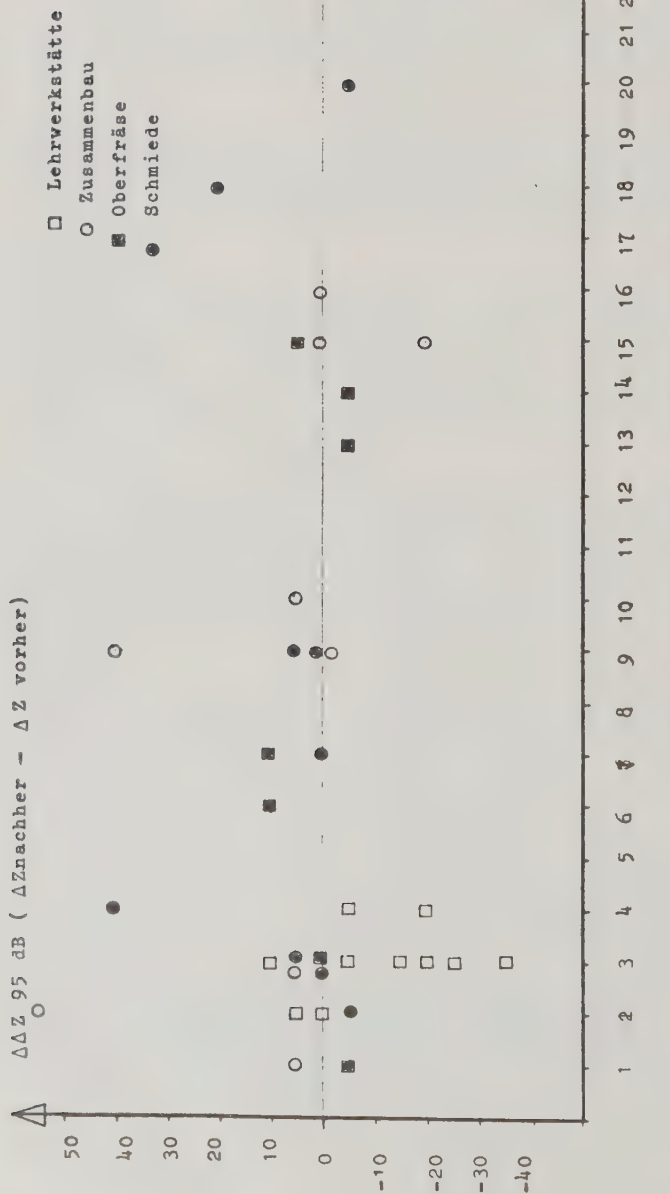


Bild 5: Änderung des ak. Reflexes während der Lärm-
 einwirkung in Abhängigkeit von den Lärmjahren

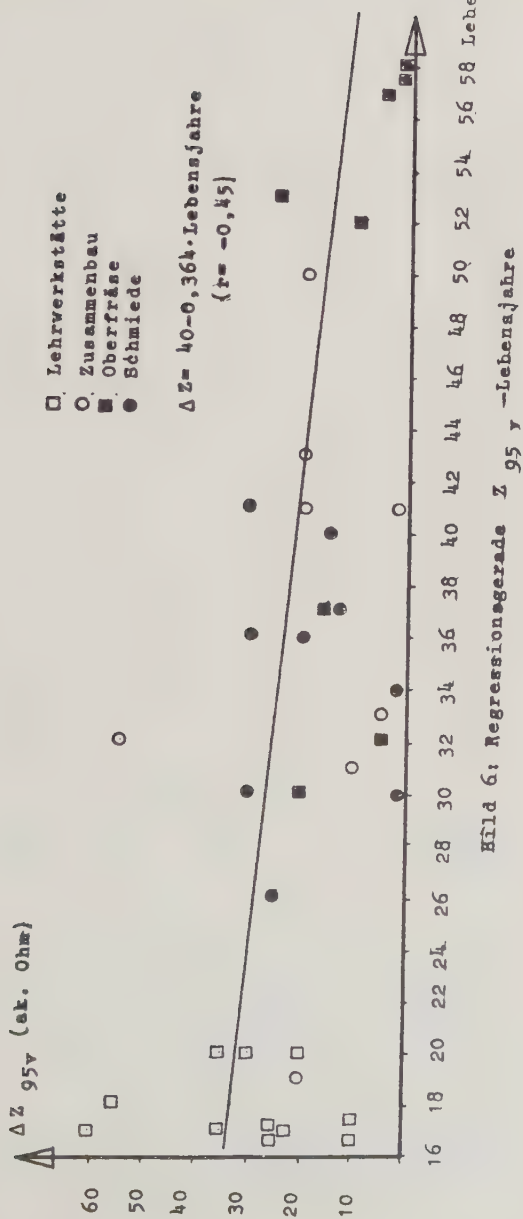


Bild 6: Regressionsgerade $Z_{95\gamma}$ -Lebensjahre

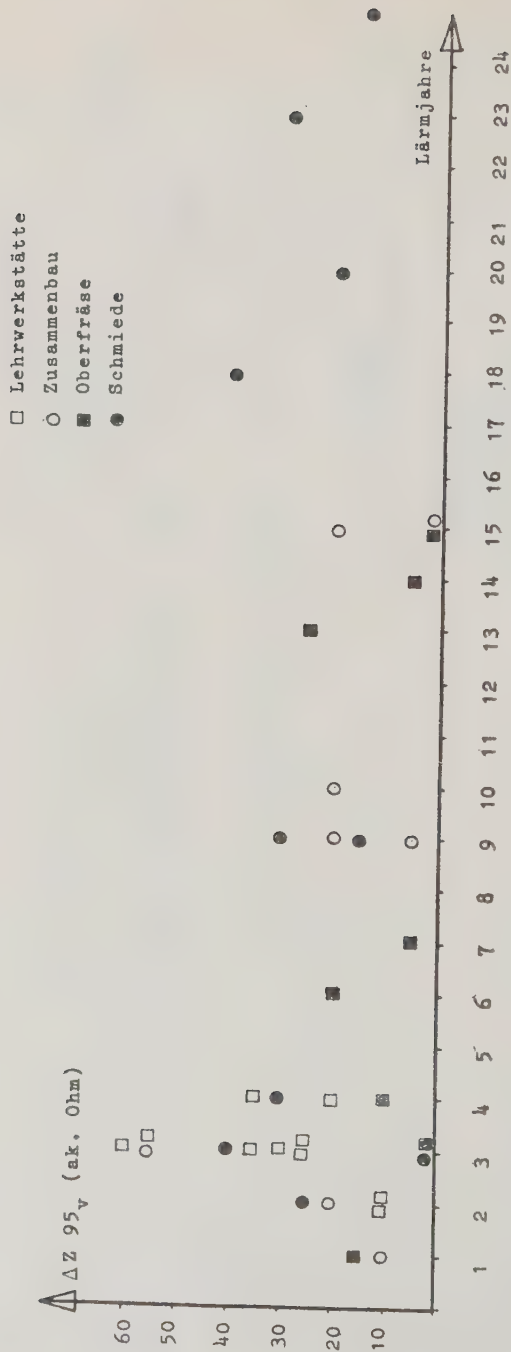


Bild 7: Reflexstärke ΔZ_{95_v} / Lärmjahre -

kein deutlicher Zusammenhang darstellbar

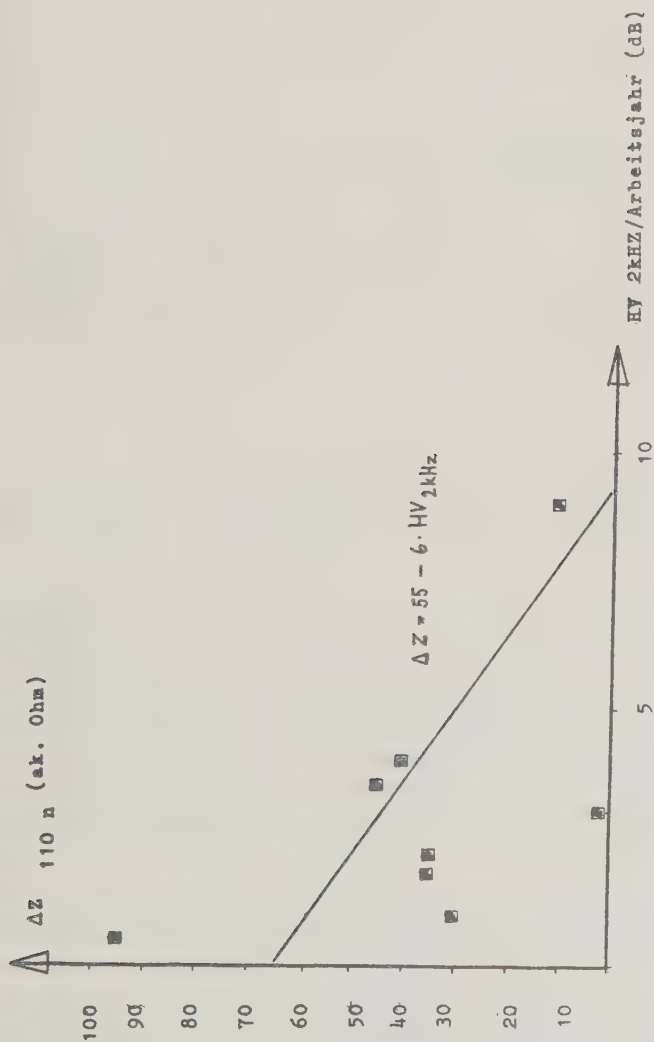


Bild 8: Regressionsgerade/Breite der c⁵-Genke (HV_{2kHz}) pro Arbeitsjahr/ ΔZ (110 [nach Lärmbelastung für die Beschäftigten an den Oberfräsen ($r = -0,56$)

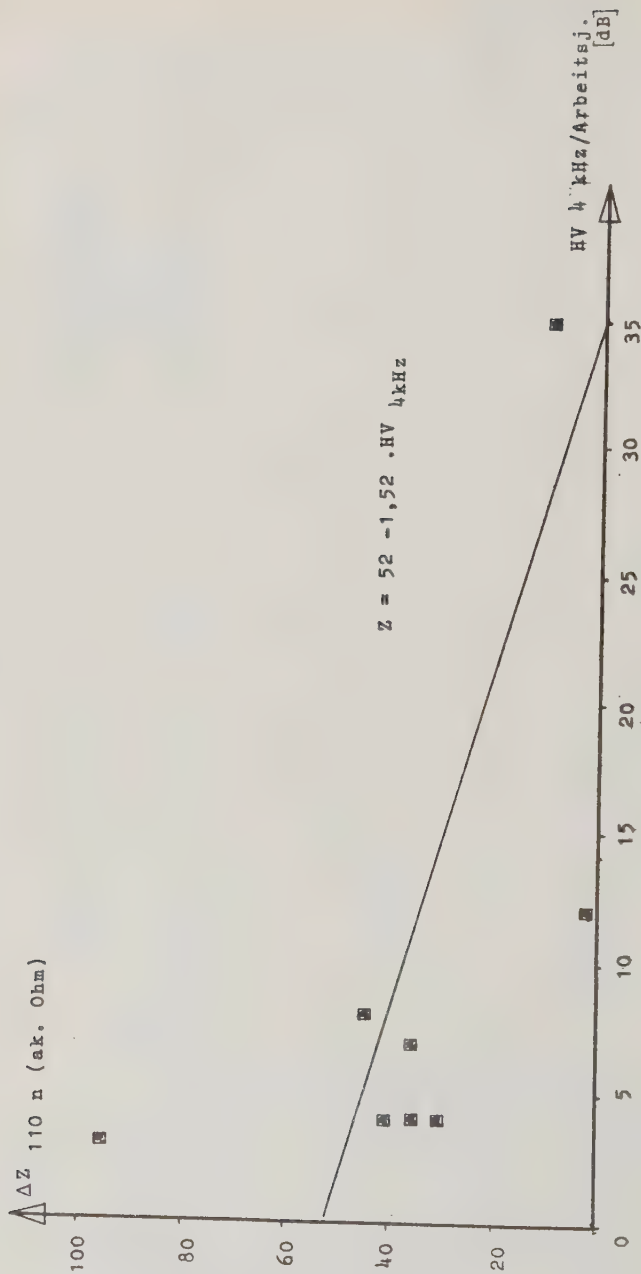


Bild 9: Regressionsgerade: Tiefe der c⁵ Senke/HV 4 kHz pro Arbeitsj. —
für die Beschäftigten an den Oberfräsen ΔZ 110 n
($r = -0,59$)

Die drei Größen, Reflexstärke nach Lärmbelastung, Auslösbarkeit des AR mit zunehmendem Reizschallpegel (= Reflexdynamik) sowie Zunahme der Reflexstärke bei Lärmeinwirkung (= lärminduzierter Reflexaufbau) zeigen etwa gleichen Einfluß auf den normierten Hörverlust bei 2 kHz und damit auf die Breite der c⁵-Senke. Dies ließ sich aber nur bei den Oberfräsen nachweisen, nicht bei den anderen Versuchsgruppen.

Ein Vergleich der Reflexdynamik zwischen Lehrlingsgruppe und den übrigen Lärmarbeitergruppen zeigt keinen signifikanten Unterschied auf ($\overline{\Delta Z}_{110n} - \overline{\Delta Z}_{95n} = 25$ bei Lehrlingen, = 23 bei den übrigen Lärarbeitern).

Daraus folgt, daß die Auslösbarkeit des AR mit zunehmendem Reizschallpegel bei Lehrlingen nach Lärmbelastung genauso groß ist, wie in der Gruppe der langjährig Lärmexponierten, obwohl ein Unterschied in der absoluten Stärke des AR zwischen beiden Gruppen besteht.

Diskussion:

Am auffälligsten ist das Untersuchungsergebnis, daß bei den Lehrlingen gegenüber allen anderen Vpn. eine signifikante Abnahme der Reflexaktivität während der Arbeits = Lärmzeit zu beobachten ist.

Als Erklärung kann einmal das Alter als ausschlaggebender Faktor herangezogen werden. Konnte doch im Bild 4 aufgezeigt werden, daß sich erst etwa um das 30. bis 32. Lebensjahr ein Maximum des Reflexaufbaues nachweisen läßt. Es kann sich hier also das jugendliche Alter der Lehrlinge als Ursache der Reflexabnahme bemerkbar machen (geringere Ausdauer, mangelnde "Lärmerfahrung" des jugendlichen Organismus). Zum anderen wäre aber auch eine gewisse "Sensibilisierung" und Konditionierung des AR bei den dauernd und über längere Zeit Lärmexponierten denkbar gegenüber den nur gelegentlich und nur kurzzeitig dem Lärm ausgesetzten Lehrlingen.

Berücksichtigt man die nachfolgend beschriebenen Begleitumstände, die bei den Messungen vorlagen, stärker, so kann obiges Untersuchungsergebnis auch zu anderen Schlüssen führen.

Außer in den Lehrwerkstätten herrschte nämlich in allen anderen Betriebsräumen ein konstanter, relativ hoher Grundgeräuschpegel, der immer wieder durch Schallpegelspitzen überlagert wurde. Alle Vpn. (mit Ausnahme der Lehrlinge) wurden direkt aus dem Lärm heraus untersucht. Bei den Lehrlingen dagegen wechselte entsprechend ihrer Tätigkeiten in der Lehrwerkstätte relative Stille mit starkem Lärm (Nieten, Hämmern) immer wieder ab. Ca. 5-10 Minuten lang vor der Messung herrschte - es war kurz vor der Brotzeit - im Werkraum

praktisch Ruhe (kein Nieten, kein Hämmern).

In Kenntnis dieser Meßbedingungen wäre es demnach doch denkbar, daß auch für den AR, entgegen der bisher in der Literatur vertretenen Ansicht, nach längerer und intensiver Lärmbelastung eine Art "Reflexvertäubung" oder sogar Reflexermüdung auftreten kann, die aber erst nach einer bestimmten Zeitspanne der Reflexruhe nachweisbar ist, während diese Erscheinung unter laufender Reflexaktivität nicht auftritt, vielleicht verhindert durch die Reflexbahnung.

Über die Ermüdbarkeit des AR gibt es in der Fachliteratur Veröffentlichungen, die besagen, daß der Reflex nicht ermüdbar sei und auch keine Refraktärzeit habe. MEYER u. SCHLOSSHAUER (48), WIGAND (101), BURGHOF (28).

Auch die beschriebene Reflexraubheit bei Sinustönen ist nach WIGAND u. BRAUER (110) keine Ermüdung des muskulären Reflexes, sondern die Folge einer Adaptation auf eine bestimmte Frequenz. Der efferente Reflexschenkel ist voll intakt.

TERKILDSSEN (117) und NIEMEYER (118) führten Untersuchungen bei Lärmarbeitern durch und berichteten auch über das Thema Reflexermüdbarkeit. Der Tenor beider Veröffentlichungen lautet so, daß auch nach langjähriger Industrielärmbelastung keine Reflexermüdung gefunden werden konnte, selbst dann nicht, wenn ein lärmbedingter Hörverlust nachzuweisen war. Die Reflexschwelle war im Vergleich zu anderen, nicht lärmbelasteten Vpn. normal oder nur ganz geringfügig erhöht, auch in Frequenzbereichen, in denen größere Hörverluste vorlagen.

Aus obigen Veröffentlichungen ist nicht zu ersehen, wann die Messungen des AR durchgeführt wurden. Ein Vergleich mit vorliegenden eigenen Untersuchungen ist daher nur mit Einschränkung möglich.

Eine echte Reflexermüdung beschreibt BURGHOF (28), die mittels Impedanzmessung aufgezeigt wurde. Dieses Phänomen zeigte sich an drei an MS erkrankten Personen.

Das divergierende Meßergebnis in der Reflexaktivität zwischen den Lehrlingen und allen übrigen Personen könnte aber auch Ausdruck einer unterschiedlichen Konzentration und akustischen Aufmerksamkeit beider Gruppen infolge der oben beschriebenen Begleitumstände bei der Messung sein. SIMMONS (68) beschreibt ähnliches.

Eine endgültige Klärung und Deutung dieses Untersuchungsergebnisses ist nur in Laboruntersuchungen zu erreichen; hier könnten die näheren Zusammenhänge aufgeklärt werden.

Die Untersuchungsergebnisse der Beschäftigten an den Oberfräsen zeigen gegenüber den übrigen Lärmarbeitern ein abweichendes Ergebnis. Erklären läßt sich diese Abweichung nur, wenn man das an den Oberfräsen vorliegende Frequenzspektrum mit zur Deutung des Ergebnisses heranzieht.

Laut Literatur kann als gesichert gelten, daß eine gewisse Schutzwirkung des AR nur bei tiefen bis mittleren Frequenzen (≤ 2 kHz) besteht.

Das Oberfräsen-Frequenzspektrum beinhaltet hauptsächlich nur diese Frequenzanteile (Abfall bei Frequenzen > 2 kHz), so daß eine optimale Reflex-Schutzwirkung zustandekommt. Auch die Oktavpegel in diesem Bereich sind bei den Oberfräsen vergleichsweise niedrig.

Oberfräsen:	$L_{\text{okt. 2 kHz}} = 100$ dB
Zusammenbau:	$L_{\text{okt. 2 kHz}} = 109$ dB
Schmiede:	$L_{\text{okt. 2 kHz}} = 110-113$ dB.

Liegen nun hohe Schallpegel ($L_{\text{okt. 2 kHz}} > 100$ dB) und/oder zusätzlich hohe Frequenzanteile vor, so kann eine Schutzwirkung des AR auf den lärminduzierten HV bei 2 bzw. 4 kHz offensichtlich nicht nachgewiesen werden. Andere Streuungsursachen (individuelle Parameter) überwiegen dann den Einfluß des AR.

Beim Betrachten der Zahlen der Tabellen 2 bis 6 fällt auf, daß in vielen Fällen (mit Kreis gekennzeichnet) innerhalb einer Gruppe diejenige Vpn. mit stärkstem Reflex auch den geringsten normierten $HV_{2 \text{ kHz}}$ bzw. 4 kHz aufweist und umgekehrt. Als Gesamtaussage ist dies jedoch, wie die Korrelationsrechnung zeigt, nicht richtig.

Conclusion:

Es konnte nicht nachgewiesen werden, daß die Stärke des AR einen allgemeinen Einfluß auf den sich langfristig entwickelnden Hörverlust bei stark lärmbelasteten Arbeitnehmern ausübt.

Der Hauptgrund scheint darin zu liegen, daß die Schutzwirkung (Übertragungsdämpfung) bei den hohen Lärmpegeln, wie sie häufig in der Industrie auftreten, nicht mehr ausreicht. Zum anderen liegt das Optimum der AR-Schutzwirkung nur in einem bestimmten Frequenzbereich (tiefe und mittlere Frequenzen = < 2 kHz), höhere Frequenzanteile werden durch die AR-Auslösung weniger oder gar nicht gedämpft. Es kann damit die Entstehung der c^5 -Senke bei Anwesenheit hoher Frequenzen im Expositionsspektrum nicht verhindert werden.

Treffen zwei Bedingungen, nämlich einmal ausschließlich tiefe bis mittlere Frequenzen im Frequenzspektrum und zum anderen ein Oktavpegel < 100 dB (bei 1 ... 2 kHz) zusammen, so konnte bei den vorliegenden Untersuchungen (Beschäftigte an den Oberfräsen) ein leichter, positiver Einfluß der Reflexstärke auf die Entwicklung des lärminduzierten Hörschadens aufgezeigt werden.

Die untersuchten jugendlichen Personen (Lehrlinge u. a.) zeigen im Mittel eine größere Reflexstärke unter Ruhebedingungen als die älteren Vpn. Hingegen nimmt im Lärmklima die Reflexstärke der Jugendlichen im Mittel ab, die der lärmgewohnten Vpn. zeigt eine von Alter und Lärmerfahrung abhängende Zunahme (unter dem Vorbehalt der auf Seite 53 beschriebenen Meßbedingungen). Die Reflexaktivität unter Ruhebedingungen (vor der Arbeitsschicht) nimmt mit zunehmendem Alter ab. Eine diesbezügliche Abhängigkeit von den Jahren der Lärmeinwirkung konnte nicht festgestellt werden.

Zusammenfassung

Aufgabe der vorliegenden Arbeit ist es, den Akustischen Reflex bei Lärmarbeitern unter verschiedenartigen Lärmeinwirkungen am Arbeitsplatz zu untersuchen.

In einer einleitenden Literaturzusammenstellung über den Akustischen Reflex werden bisherige Forschungsergebnisse kurz dargestellt und die unterschiedlichen Ansichten über die funktionelle Bedeutung des Akustischen Reflexes aufgezeigt. Es wird die Auffassung vertreten, daß dem Akustischen Reflex zum einen eine reine passive Schutzwirkung zukommt, die ihre Grenzen in der Lärmfrequenz, Lärmintensität und Lärmart hat. Zum anderen wird die Bedeutung des Akustischen Reflexes auch in einer aktiven Funktion bei der Schallübertragung gesehen.

Für die eigenen Untersuchungen über das Verhalten und die Auswirkungen des Akustischen Reflexes sind insgesamt 48 ohrgesunde Versuchspersonen an Arbeitsplätzen mit verschiedenartigen Lärmbelastungen ausgewählt worden. Davon sind 11 Versuchspersonen in der Schmiede, 8 an der Oberfräse, 9 im Zusammenbau, 10 im Büro und 10 in der Lehrwerkstätte seit längerer Zeit beschäftigt.

Die Reflexaktivität der Binnenohrmuskeln wird mittels Impedanzmessung dargestellt. Es wird die Reflexaktivität vor Arbeitsbeginn und nach 2, 5 Stunden beziehungsweise 3, 5 Stunden Arbeitslärmeinwirkung in der Weise gemessen, daß am contralateralen Ohr kurzfristig jeweils ein Breitbandrauschen mit einem Schalldruckpegel von 95 dB und 110 dB angeboten und die Stärke der Impedanzerhöhung festgestellt wird. Die Differenz dieser absoluten Meßwerte der Reflexaktivität nach Arbeitslärmbelastung minus dem Meßwert vor Arbeitslärmbelastung läßt eine Aussage über das Verhalten des Akustischen Reflexes nach Arbeitslärmbelastung zu.

Außerdem liegt von jeder Versuchsperson ein vor Arbeitslärmbelastung gefertigtes Audiogramm vor. Die wesentlichen Ergebnisse dieser Audiogramme sind in den Tabellen in Beziehung zu den gefundenen Impedanzmeßwerten gesetzt.

Die Auswertung der Untersuchung erfolgt nach physikalischen und statistischen Gesetzen. Graphische Darstellungen verdeutlichen die Ergebnisse.

Als Untersuchungsergebnis wird aufgezeigt, daß sich der Akustische Reflex bei jugendlichen und "lärmunerfahrenen" Personen nach Arbeitslärmbelastung anders verhält, als bei älteren und "lärnerfahrenen". Bei den jugendlichen und lärmunerfahrenen Personen zeigt sich vor Arbeitslärmbelastung eine stärkere Reflexaktivität, die jedoch nach Arbeitslärmbelastung im Gegensatz zu den lärmgewohnten älteren Personen deutlich geringer ist. Eine funktionelle Schutzwirkung des Akustischen Reflexes ist nur dann nachzuweisen, wenn der vorherrschende Arbeitslärm bestimmte Intensitäten und Frequenzbereiche nicht über-

schreitet. Dies ist bei den Versuchspersonen an der Oberfräse aufgezeigt. Da bei den übrigen Lärmarbeitern der Arbeitslärm diesen Frequenzbereich und Intensitätspegel weit übersteigt, kann der Akustische Reflex als Schutz des Innenohres nicht mehr wirksam sein.

LITERATURVERZEICHNIS

- 1 GEFCKEN, W. Ann. Physik 19:829 (1934) zit. n. LÜSCHER in: Über Regulationsmechanismen des Gehörorganes, Schweiz. Med. Wschr. 12:430-432 (1942)
- 2 LEHNHARDT, E. Physiologie des Mittelohres. In: BERENDES, LINK, ZÖLLNER Hals-Nasen-Ohrenheilkd. Bd. III/1. S. 165-201, Stuttgart, G. Thieme, 1965
- 3 BEKESY, G. v. Zur Physik des Mittelohres und über das Hören bei fehlerhaftem Trommelfell, Akust. Zschr. 1:13-23 (1936)
- 4 CEMACH, A. J. Beiträge zur Kenntnis der kochlearen Reflexe, Passow-Schaefer Beiträge Hals-Nas. -Ohr. -hkd. Berlin, 14:1-82 (1920)
- 5 POLITZER, A. Untersuchungen über Schallfortpflanzung und Schallleitung im Gehörorgan in gesundem und krankem Zustande, Arch. Ohr. -Nas. -Kehlk. -hkd. 1:59-73 (1864)
- 6 HELMHOLTZ, H. Die Mechanik der Gehörknöchelchen und des Trommelfells, Pflügers Arch. Physiol. 1:1-60 (1868)
- 7 MACH, E. u. F. KESSEL Über die Akkomodation des Ohres, zit. n. KATO, In: Zur Physiologie der Binnenmuskeln des Ohres, Pflügers Arch. Physiol. 150:569-625 (1913)
- 8 BEZOLD, F. Experimentelle Untersuchungen über den Schalleitungsapparat des menschlichen Ohres, Arch. Ohr. -Nas. -Kehlk. -hkd. 16:1 pp. (1880)
- 9 BOCKENDAHL, A. Über die Bewegung des Musculus tensor tympani beim Hund, Arch. Ohr. -Nas. -Kehlk. -hkd. 16:241 pp. (1880)
- 10) KATO, T. Zur Physiologie der Binnenmuskeln des Ohres, Pflügers Arch. Physiol. 150:569-625 (1913)

- 11 POLLAK, J. Über die Funktion des Musculus tensor tympani.
Medizinisches Jahrbuch: 355 (1885) zit. n. CANCURA
in: Der Einfluß der Binnenohrmuskeln auf die Schall-
übertragung im Mittelohr.
Mschr. Ohrenheilkd. 104:3-46 (1970)
- 12 POLLAK, J. Über die Funktion des Musculus tensor tympani.
Med. Jahrbuch 82:555-582 (1886) zit. n. WERSÄLL
in: The tympanic muscle and their reflexes,
Acta oto-laryng. Suppl. 139 (1958)
- 13 HAMMERSCHLAG, Über den Tensorreflex.
V. Arch. Ohr. -Nas. -Kehlk. hkd. 46:1 pp. (1899)
- 14 KÖHLER, W. Akustische Untersuchungen.
Zschr. Psychol. Physiol. Sinnesorg.
Leipzig, 1 Abt. 54:241 (1910)
- 15 KOBRAK, H. Zur Physiologie der Binnenmuskeln des Ohres.
Passow-Schaefer Beitr. Bd. 29:410 (1931)
- 16 MACH, KESSEL, zit. n. KOBRAK in: Zur Physiologie der Binnenmus-
LUCAE, HENSEN keln des Ohres.
u. a. Passow-Schaefer Beitr. Bd. 29:410 (1931)
- 17 MÜLLER, Joh. Handb. der Physiologie des Menschen, II. Abt.
1:393-483. Koblenz, J. Hölscher 1837.
- 18 HELMHOLTZ, zit. n. KOBRAK unter 15 dieses Verzeichnisses.
HENLE, BRUCKE,
OSTMANN
- 19 BETHE, BERGMANN Handbuch der Physiologie.
u. a. Bd. 11:431 pp. (1926)
- 20 KOBRAK, H. Zur Physiologie der Binnenmuskeln des Ohres I.
Passow-Schaefer Beitr. Bd. 28:183 pp. (1930)
- 20a KOBRAK, H. Zur Physiologie der Binnenmuskeln des Ohres II.
Passow-Schaefer Beitr. Bd. 29:383 pp. (1931)
- 21 VESALIUS, A. De humani corporis fabrica, libri septum.
Basileae 1543, zit. n. POLITZER in: Geschichte
der Ohrenheilkunde 1. Bd. Stuttgart 1907.

- 22 EUSTACHIUS, B. Opuscula Anatomica. Venetii 1564, zit. n. WIGAND
in: Steuerung, Reflexverhalten, funktionelle Bedeu-
tung der Mittelohrmuskeln.
Habil. Schrift Würzburg 1965
- 23 ALBINUS, B. S. zit. n. WIGANG in: Steuerung, Reflexverhalten und
funktionelle Bedeutung der Mittelohrmuskeln.
Habil. Schrift Würzburg 1965
- 24 VAROLIUS, C. Anatomicae sive de resolutione corporis humani
libri III, Francfurti 1591. - zit. n. POLITZER in:
Geschichte der Ohrenheilkd. 2 Bände, Stuttgart
1907 u. 1913
- 25 ARNOLD, F. Der Kopftheil des vegetativen Nervensystems.
Heidelberg und Leipzig, K. Groos 1831
- 26 OSTMANN, P. Über die Reflexerregbarkeit des Musculus tensor
tympani durch Schallwellen und ihre Bedeutung für
den Hörakt.
Arch. Anat. Physiol. Leipzig 22:s. 75 (1898)
- 27 LÜSCHER, E. Die Funktion des Musculus stapedius beim Menschen.
Zschr. Hals. -Nas. -Ohr. -hkd. 23:105-132 (1929);
ibidem 27:399 pp. (1930); ibidem 25:462-478 (1930)
- 28 BURGHOFF, H. Bestimmung des Mittelohrreflexes.
HNO Bd. 16:23-27 (1968)
- 29 LAWRENCE, M. The double innervation of the m. tensor tympani.
Ann. Otol. (St. Louis) 71:705-718 (1962)
- 30 BRZEZINSKI, Feinbau, Muskelspindeln und Funktion der Mittel-
D. K. v. ohrmuskeln der Menschen.
Arch. Ohr. -Nas. -Kehlk. hk. 179:550-566 (1962)
- 31 CANDIOLLO, L. Further observations concerning the proprioceptive
R. GUGLIELMONE innervation of the tensor tympani muscle.
Anat. Anz. 125:161-165 (1969)
- 32 BLEVINS, CH. E. Innervation patterns of the human stapedius muscle.
Arch. Otolaryng. (Chicago) 86:136-142 (1967)
- 33 STEINITZ, W. Beiträge zur Anatomie des musculus stapedius.
Arch. f. Ohrenheilkd. Bd. 70:44-50 (1906)

- 34 BLEVINS, Ch. E. Motor units in the stapedius muscle.
Arch. Otolaryng (Chicago) 87:249-254 (1968)
- 35 NOJIRI, J. The innervation of the human stapedius muscle.
Acta anat. nippon 38:212-231 (1963) zit. n.
Zbl. HNO-hkd. 81:274 (1964)
- 36 HOSHINO, T. The structure of the tympanic muscles of humans and
guinea pigs.
J. oto-rhino-laryng. Soc. Jap. 70:802-815 (1967),
zit. n. Zbl. HNO-hkd. 97:197 (1967)
- 37 HAYATA, T. Histochemical studies on the middle ear muscles.
Otol. Fukuoka 9:91-104 (1963), zit. n. Zbl. HNO-
hkd. 82:205 (1965)
- 38 GERHARDT, H. -J., Enzymhистоchemische Untersuchungen an den Bin-
J. PEIPLow nenohrmuskeln der Meerschweinchen.
Z. Laryng. Rhinol. 45:216-223 (1966)
- 39 LOTZ, P. K., Die Lactatdehydrogenase der Binnenohrmuskeln.
D. KUHl, Arch. klin. exper. Ohr. -Nas. -Kehlk. hkd. 195:47-54
D. BRAUER (1969)
- 40 TERRACOL, J., Le système proprioceptif des muscles des osselets de
G. WINCKLER, l'oreille moyenne.
P. ARDONIN et Rev. Laryng. (Bordaux) 87:25-26 (1966), zit. n.
M. PORTMANN Zbl. HNO-hkd. 92:147 (1968)
- 41 METZ, O. The acoustic impedance measured on normal and
pathological ears.
Acta oto-laryng. Suppl. 63:1-254 (1946)
- 42 GALAMBOS, R., Action of the middle ear muscles in normal cats.
A. RUPERT J. Acoust. Soc. Amer. 31:349 (1959)
- 43 KOBRAK, H. Experimental observations on sound conduction in
the middle and inner ear.
Ann. Otol. Rhinol. St. Louis 62:748 (1953)
- 44 HILDING, D. A. The intratympanic muscle reflex as a protective
mechanism against loud impulsive noise.
Ann. Otol. Rhinol. St. Louis 69:51 (1960)
- 45 HALLPIKE, C. P. On the function of the tympanic muscle.
J. Laryng. Otol. 50:362-367 (1935)

- 46 LINDSAY, J. R.,
H. KOBRAK et
H. B. PERLMAN Relation of the stapedius reflex to hearing sensation
in man.
Arch. Otolaryng, Chicago 23:671 (1936)
- 47 WEVER, E. G.,
J. A. VERNON The threshold sensitivity of the tympanic muscle
reflexes.
Arch. Otolaryng. 62:204-213 (1955) Chicago.
- 48 MEYER, Eb. et
B. SCHLOSSHAUER Über die Funktion des Musculus stapedius.
HNO-Wegweiser Berlin 3:257-260 (1952/53)
- 49 HILDING, D. A.,
L. FLETCHER The protective value of the middle ear reflex.
Int. Rec. Med. 173:369-374 (1960)
- 50 WERSÄLL, R. The tympanic muscles and their reflexes.
Arch. Otolaryng. Suppl. 139:1 pp. (1958)
- 51 LEHNHARDT, E. Der Einfluß der Binnenohrmuskeltätigkeit auf die
Empfindlichkeitskurve des Ohres.
Arch. Ohr. -Nas. -Kehlk. hkd. 175:383-387 (1959)
- 52 FRANZ, H. Hat der Musculus stapedius eine selbständige
Funktion?
Z. Laryng. Rhinol. 40:208-215 (1961)
- 53 NEERGAARD, E. B.,
H. C. ANDERSEN,
C. C. HANSEN et
O. JEPSEN Experimental studies on sound transmission in the
human ear. III. Influence of the stapedius and tensor
tympani muscles.
Acta Oto-Laryng. (Stockh.) Suppl. 188:280-286
(1963)
- 54 DISHOEK, H. A.
van Akustisches Trauma. In: BERENDES, LINK, ZÖLLNER,
Hals -Nasen -Ohren-Heilkd. Bd. III/Teil 3, S. 1781,
Thieme Verlag Stuttgart, 1966.
- 55 PICHLER, H. et
H. BORNSCHEIN Audiometrischer Nachweis nicht-akustisch ausgelös-
ter Reflexkontraktionen der Intraauralmuskulatur.
Acta Oto-laryng. (Stockh.) 48:498 (1957)
- 56 CANCURA, W. Der Einfluß der Binnenohrmuskulatur auf die Schall-
übertragung im Mittelohr,
Mschr. Ohrenheilkd. 104:3-46 (1970)
- 57 FREY, H. Die Funktion der Binnenohrmuskeln.
Zschr. Hals. -Nas. -Ohrenheilkd. 27:381 pp. (1930)

- 58 WIGAND, M. E. Die Mittelohrmuskeln und ihre Funktion beim Hören. Zschr. Hörgeräte-Akustik Nr. 3:82-90 (1967)
- 59 DJUPESLAND, G. Registrierung von intraauralen Muskelreflexen durch cutane Reizung beim Menschen. Acta Otolaryng. Stockh. 53:397 pp. (1961)
- Intra-aural muscular reflexes by air current stimulation of the external ear. Acta Otolaryng. Stockh. 54:143 pp. (1962)
- Middle ear muscle reflexes elicited by acoustic and non-acoustic stimulation. Acta Oto-laryng. Stockh. Suppl. 188:289 pp. (1963)
- 60 KLOCKHOFF, J. Middle ear muscle reflexes in man. Acta Otolaryng. Stockh. Suppl. 164:1 pp. (1961)
- 61 KRYTER, K. D. The effect of noise on man. New York and London 1970
Chap. 3, S. 95-107.
- 62 MANGOLD, E. et A. ECKSTEIN Reflektorische Kontraktionen des Tensor tympani beim Menschen. Pflügers Arch. Physiol. 152:589 pp. (1913)
- 63 WIGGERS, H. C. The function of the intra-aural muscles. Amer. J. Physiol. London 120:771 pp. (1937)
- 64 POTTER, A. B. Function of the stapedius muscle. Ann. Otol. Rhinol. St. Louis, 45:638 (1936)
- 65 SIMMONS, F. B., R. GALAMBOS, A. RUPERT Conditioned response of the middle ear muscle. Amer. J. Physiol. 197:537 pp. (1959)
- 66 CARMEL, P. W., A. STARR Acoustic and non-acoustic factors modifying middle ear muscle activity in waking cats. J. Neurophysiol. 26:598 (1963) zit. n. Zbl. HNO-hkd. 83:215 (1963).
- 67 HENSON jr. O. W. The activity and function of the middle ear muscles in Echo-Locating Bats. J. Physiol. 180:871-887 (1965)
- 68 SIMMONS, F. B. Perceptual theories of middle ear muscle function. Ann. Otol. St. Louis 73:724-739 (1964)

- 69 TERKILDTSEN, K. Acoustic reflexes of human musculus tensor tympani. Acta oto-laryng. Stockh. 158:230-238 (1960)
- 70 FELDMAN, A. S. A report of further Impedance studies of the acoustic reflex. J. Speech Hearing Res. 10:616-622 (1967)
- 71 LANDOIS-ROSEMANN Lehrbuch der Physiologie des Menschen. Bd. II. Urban-Schwarzenberg Verlag, München-Berlin 1962
- 72 LINDÉN, G., J. L. PETERSON, E. R. HARFORD Simultaneous recording of changes in relative Impedance and air pressure during acoustic and non-acoustic elicitation of the middle ear reflexes. Acta Otolaryng. 263:208-217 (1970)
- 73 SIMMONS, F. B. Binaural Summation of the Acoustic Reflex. J. Acoust. Soc. Amer. 37:834-836 (1965)
- 74 TIETZE, G. Die quantitative Messung des Stapediusreflexes bei Fazialispareisen. Zschr. Laryng. Stuttgart. 45:279 (1969)
- 75 BORG, E. A quantitative Study of the Acoustic Stapedius Reflex on sound Transmission through the Middle Ear of Man. Acta Otolaryng. Stockh. 66:461-472 (1968)
- 76 MÖLLER, A. R. Acoustic reflex in man. J. Acoust. Soc. Amer. 34:1524-1534 (1962)
- 77 MÖLLER, A. R. The sensitivity of contraction of the tympanic muscles in man. Ann. Otol. St. Louis, 71:86-95 (1962)
- 78 SATO, R. Y. ONO The displacement of the stapes. Acta Otolaryng. Stockh. 68:509-513 (1969)
- 79 WEISS, H. S., J. R. MÜNDIE jr., J. L. CASHIN, E. W. SHINABARGER The normal human intra-aural muscle reflex in response to sound. Acta Oto-laryng. Stockh. 55:505-515 (1962)
- 80 DJUPESLAND, G., J. J. ZWISLOCKI Effect of temporal summation of the human stapedius reflex. Acta otolaryng. Stockh. 71:262-265 (1971)

- 81 LORENTE de NO, R., Experimental studies in Hearing. I. The threshold of the reflexes of the muscles of the middle ear. A. S. HARRIS
Laryngoscope 43:315 pp. (1933)
- 82 LORENTE de NO, R. Acoustic reflexes on the muscles of the middle ear.
Laryngoscope, London 42:801 pp. (1932)
- 83 SIMMONS, F. B. Simultaneous trans-tympanic and electrophysiological indices of the acoustic reflex activity in the cat.
Acta oto-laryng. Stockh. 55:309-314 (1962)
- 84 DJUPESLAND, G., Size and Duration of acoustically elicited F. FLOTTORP, Impedance changes in man.
F. WINTHER Acta Otolaryng. Suppl. 224:220-228 (1966)
- 85 JOHANSSON, B., Acoustic reflex as a test of individual susceptibility to noise. B. KYLIN,
M. LANGFEY Acta otolaryng. Stockh. 64:256-262 (1967)
- 86 DALLOS, P. J. Dynamics of the acoustic reflex: Phenomenological aspects.
J. Acoust. Soc. Amer. 36:2175-2183 (1964)
- 87 TIETZE, G. Zum Zeitverhalten des akustischen Reflexes bei Reizung mit Dauertönen.
Arch. klin. exp. Ohr. Nas. Kehlk. hkd. 193:43-52 (1969)
- 88 TIETZE, G. Einige Eigenschaften des akustischen Reflexes bei Reizung mit Tonimpulsen.
Arch. klin. exp. Ohr. -Nas. -Kehlk. hkd. 193:53-69 (1969)
- 89 FLETCHER, J. L., Protective effect of the acoustic reflex for A. RIOPELLE impulsive noises.
J. Acoust. Soc. Amer. 32:401-404 (1960)
- 90 REICHARDT, W. Die Abhängigkeit der Lautstärke vom Akustischen u. S. MÜLLER Reflex. Hochfrequenztechnik Elektroakustik 78:92-102 (1969)
- 91 MÜLLER, S. Die Wirkung des Akustischen Reflexes bei Impulsbelastung.
Acustica 23:223-229 (1970)

- 92 LORENTE de NÓ, R. The function of the central acoustic nuclei examined by means of the acoustic reflexes.
Laryngoscope St. Louis 45:573-595 (1935)
- 93 CASE, T. J. Latent period of the crossed stapedial reflex in man.
Ann. Otol. Rhinol. St. Louis 48:663 pp. (1939)
- 94 FISH, U., Electromyographic studies on the human stapedial
G. v. SCHULTHESS muscle.
Acta otolaryng. Stockh. 56:287-297 (1963)
- 95 NEERGAARD, E. B., Latency of the stapedius muscle reflex in man.
P. E. RASMUSSEN Arch. Otolaryng. Chicago 84:173-180 (1966)
- 96 OKAMOTO, M., Experimental studies on the function of the tensor
M. SATO, tympani muscle.
J. KIRIKAE Ann. Otol. Rhinol. St. Louis 63:950 (1955)
- 97 TOTSUKA, G., The experimental study on the acoustic reflex
M. SATO, contraction of the stapedius muscle.
S. KAWAMURA, Zbl. Hals, -Nas, -Ohren-heilkd. 62:302 (1958)
M. SAWASHIMA
- 98 METZ, O. Studies on the contraction of the tympanic muscles
as an indicated by changes in the impedance of the
ear.
Acta otolaryng. 39:397-405 (1951)
- 99 BORNSCHEIN, H., Bioelektrische Funktionsanalyse der Intraauralmuskulatur,
F. KREJCI Mschr. Ohr, hkd. Wien 86:221 pp. (1952)
- 100 PERLMAN, H. B. The place of the middle ear reflex in auditory
research.
Arch. Otolaryng. 72:201 pp. (1960)
- 101 WIGAND, M. E. Steuerung, Reflexverhalten und funktionelle Bedeutung der Mittelohrmuskeln.
Habil. Schrift Würzburg 1965
- 102 GERHARDT, H. -J., Zum Einfluß der Binnenohrmuskelfunktion auf die
H. WAGNER Lärmschädlichkeitsschwelle für kontinuierliche Töne
und Geräusche beim Meerschweinchen,
Arch. klin. exp. Ohr, -Nas, -Kehlk, hkd. 186:207-215
(1960)

- 103 POPOFF, N. F. Zur Frage der patho-histologischen Veränderungen, die im Gehörorgan weißer Mäuse experimentell durch Fabrik-(Metall)-Geräusch erzeugt werden.
Zschr. Hals. -Nasen-Ohren-heilkd. 23:268-276 (1929)
- 104 POPOFF, N. F. Über histopathologische Veränderungen des Gehörorgans weißer Mäuse infolge von Fabriks(Metall)-Getöse und Erschütterung.
Mschr. Ohrenheilkd. 66:1488-1502 (1932)
- 105 MADSEN Model ZO 70 Electroacoustic Impedance Bridge, applications and instructions for use, Madsen Electronics, A. S. Copenhagen, Denmark.
- 106 TIETZE, G. Gesichtspunkte für die Durchführung quantitativer Impedanzmessungen mit einem Vorschlag zur Standardisierung der Meßeinrichtung für klinische Zwecke.
Arch. klin. exp. Ohren-Nasen-u. Kehlkopfhkd. 190: 351-381 (1968)
- 107 LEHNHARDT, E. Impedanz des Mittelohres. In: Physiologie des Mittelohres, In: BERENDES, LINK, ZÖLLNER, Hals-Nasen-Ohren-Heilkd. Bd. III/Teil 1, S. 168 pp.
Stuttgart, Thieme, 1965.
- 108 KLINKE, R. Physiologie des Hörens I. In: GAUER, KRAMER, JUNG, Physiologie des Menschen. Bd. 12.
Urban & Schwarzenberg, S. 33.
- 109 DIETZEL, K. Befunde an Gehörknöchelchen und Mittelohrmuskeln.
Arch. klin. exp. Ohr. -Nas. -Kehlk. -hkd. 176:658 (1960)
- 110 WIGAND, M.E. u. St. BRAUER Die Reflexaktivität mot. Einheiten von Nervus und Musculus stapedius des wachen Kaninchens.
Arch. Ohr. -Nas. -Kehlk. hkd. 183:237-241 (1964)
- 111 LÜSCHER, E. Über reflektorische Trommelfellbewegungen und über die Funktion des Musculus tensor tympani beim Menschen.
Zschr. Hals. -Nasen. -Ohrenheilkd. 28:40-57 (1930)
- 112 EY, W. Das akute akustische Trauma. Arbeits-Sozialmedizin, Arbeitshygiene 7:251-256 (1967)

- 113 JEPSEN, O. The threshold of the reflex of the intratympanic muscles in a normal material examined by means of impedance method.
Acta otolaryng. Stockh. 39:406-408 (1951)
- 114 GERHARDT, H. -J., Elektromikroskopische Untersuchungen am musculus tensor tympani des Meerschweinchens.
H. DAVID,
I. MARX
Arch. klin. exp. Ohren, Nasen-u. Kehlkopfhkd. 186:20-30 (1966)
- 115 MÖLLER, A. G. Intra-aural muscle contraction in man, examined by measuring acoustic impedance of the ear.
Laryngoscope 68:48-62 (1958)
- 116 CANCURA, W. Zur Physiologie des Mittelohres.
Wien, klin. Wschr. 82:921-924 (1970)
- 117 TERKILDSEN, K. The intra-aural muscle reflexes in normal persons and in workers exposed to intense industrial noise.
Acta otolaryng. 52:384-396 (1960)
- 118 NIEMEYER, W. Relations between the discomfort level and the reflex threshold of the middle ear muscles.
Audiology 10:172-176 (1971)
- 119 LÜSCHER, E. Über Regulationsmechanismen des Gehörorganes.
Schw. Med. Wschr. 12:430-432 (1941)
- 120 VDI-Richtlinien Beurteilung von Arbeitslärm am Arbeitsplatz hinsichtlich Gehörschäden.
VDI 2058 Blatt 2
Oktober 1970. Beuth-Vertrieb GmbH Berlin und Köln.
- 121 ROSSBERG, G. Die Schallzuleitung zum Innenohr.
Arch. Ohr, Nas. Kehlk. hkd. 172:S. 310 u. S. 388 (1958)

Mein Dank gilt auch Herrn Ing. cand. rer. nat. H. Eder im Bayerischen Landesinstitut für Arbeitsschutz, der mich bei der statistischen Auswertung und bei der Lärmpegel- und Frequenzmessung unterstützte. Des weiteren gilt mein Dank den Herren Betriebsärzten, Herrn Dr. Fuchs und Herrn Dr. Krailling, bei den Firmen Krauss-Maffei und Dornier AG.

LEBENS LAUF

Am 2. November 1934 wurde ich, Raimund Meisel, als dritter Sohn des damaligen RB-Oberamtmanns Georg Meisel und seiner Ehefrau Anna, geborene Frank, zu Bamberg geboren. Nach abgelegter Reifeprüfung an der Oberrealschule in Starnberg 1958 studierte ich zunächst an den Universitäten in München und zu Erlangen einige Semester Rechtswissenschaft, bis ich ab Wintersemester 1964/65, meiner Neigung entsprechend, mit dem Studium der Humanmedizin begann, das ich 1967, nach 12 Semestern, mit dem Staatsexamen in München erfolgreich abschloß.

Meine klinische Ausbildung erhielt ich im Kreiskrankenhaus München/Pasing und im Kreiskrankenhaus Berchtesgaden. Nach mehrmonatiger Vertretung in einer Landpraxis habe ich mich ab 1. April 1971 in Niederbayern als praktischer Arzt und Geburtshelfer in eigener Landpraxis niedergelassen. Derzeit ruht meine Niederlassung.

Ich möchte an dieser Stelle meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. L. Schreiner, Chefarzt der HNO-Abteilung im Kreiskrankenhaus München-Pasing für die wertvollen Anregungen und sein stets förderndes Interesse am Fortgang der Arbeit danken.

